Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 22, No. 2, Summer 2024, p. 169-195

Effect of Planting Date and Moisture Levels on Some Physiological and Biochemical Traits of Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Birjand and Sarbisheh Regions

F. Golestanifar[1], S. Mahmoodi[2,3*], H. R. Fallahi[2,3], A. Shahidi[4]

1- PhD Students, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
3- Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
4- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: smahmoodi@birjand.ac.ir)

Received: 12 November 2023 Revised: 29 January 2024 Accepted: 03 February 2024 Available Online: 14 May 2024	**How to cite this article:** Golestanifar, F., Mahmoodi, S., Fallahi, H. R., & Shahidi, A. (2024). Effect of Planting Date and Moisture Levels on Some Physiological and Biochemical Traits of Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Birjand and Sarbisheh Regions. *Iranian Journal of Field Crops Research, 22*(2), 169-195. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.85306.1279

Introduction

The economic importance of quinoa is not only due to the possibility of using the seeds as a food product characterized by a similar composition and use as consumer cereals but the species can also be managed as a leafy vegetable with high nutritional value and similar uses, such as, for example, spinach. Drought is another environmental stressor for plants subjected to severe water stress, especially in semi-arid and arid environments. Water scarcity poses a considerable challenge to crop production, leading to a notable reduction in crop yield. Quinoa, however, boasts low water requirements and demonstrates resilience in drought conditions. Even during dry periods, quinoa can effectively sustain leaf area and regulate photosynthetic activity. This resilience is facilitated by structural characteristics such as small, thin-walled cells, tissue flexibility, low osmotic potential, and controlled leaf area reduction through dehiscence. Other quinoa features for sustaining turgor pressure through osmotic adjustment during drought stress include inorganic ion buildup (e.g., Ca, K, and Na) and improved organic element synthesis (carotenoids and proline). Quinoa genotypes have several drought-resistance mechanisms, enabling this crop to grow and develop under severe drought conditions.

Materials and Methods

To evaluate the effect of moisture levels on some quinoa cultivars biochemical traits, four separate experiments were conducted in a factorial layout based on randomized complete block design with three replications in two regions (Birjand and Sarbisheh) and two planting dates (March and July/August) in 2018-2019. The experimental factors included five moisture levels (25, 50, 75, 100, and 125% of crop water requirement) and three quinoa cultivars (Titicaca, Giza1, and Redcarina). Some quinoa physiological and biochemical traits were evaluated by composite analysis at the 50% flowering stage and the effects of planting date and location were considered fixed.

Results and Discussion

The results showed that in August/July cultivation, the characteristics of RWC, electrolyte leakage, sodium percentage, potassium percentage, chlorophyll a, carotenoids, proline content, and total soluble carbohydrate of

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.85306.1279

leaves were increased by 17.10, 74.62, 95.51, 31.9, 3.53, 38.65, 94.19 and 9.30% respectively and chlorophyll b content decreased by 13.15% compared to March culture. Also, in Sarbisheh, RWC, electrolyte leakage, potassium percentage, and leaf carotenoids are respectively 3.53, 38.65, 94.19 and 9.30% more than Birjand, but sodium percentage, chlorophyll a, chlorophyll b, proline and total soluble carbohydrates of leaves were 4, 1.88, 15.67, 51.02 and 30.41% less than Birjand, respectively. In most of the studied traits, the Giza1 cultivar had higher quality traits. Severe water scarcity resulted in an elevation of certain biochemical traits in quinoa leaves. Specifically, as moisture levels decreased from 125% to 25% of the water requirement, there was a significant increase in electrolyte leakage, sodium and potassium percentages, chlorophyll a and b, carotenoids, proline, and total leaf soluble carbohydrates by 24.50%, 37.84%, 35.89%, 24.83%, 59.12%, 48.75%, 51.58%, and 36.71%, respectively. However, the relative water content (RWC) decreased by 17.70%. Notably, there were no significant differences observed between the 125% and 100% levels of water requirement for most of the analyzed traits.

Conclusion

In general, with the significance of the triple interaction of planting date × location × cultivar, as a result, the reaction of each variety depends on the planting date and location of its planting. But in general, most of the quinoa leaf physiological and biochemical traits increased in August/July cultivation. In Birjand, due to the higher average temperature and other climatic parameters compared to Sarbisheh, and probably understanding the heat stress, traits such as photosynthetic pigments, proline, and soluble carbohydrates had higher values. In this research, the Giza1 was superior to the other two cultivars, and moisture stress caused a significant decrease in the water content of the leaves and a significant increase in quinoa leaves quality traits.

Keywords: Chlorophyll a and b, Low irrigation, Proline, RWC, Sodium and potassium percentage

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۲، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۳، ص ۱۹۵-۱۶۹

تأثیر تاریخ کاشت و سطوح رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در دو منطقه بیرجند و سربیشه

فرزانه گلستانی‌فر[1]، سهراب محمودی[2، 3*]، حمیدرضا فلاحی[2، 3]، علی شهیدی[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴

چکیده

کمبود آب، یکی از مشکلات اساسی کشاورزی ایران است، لذا احتمال وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین به‌منظور ارزیابی تأثیر سطوح رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کینوا، چهار آزمایش مجزا در دو منطقه (بیرجند و سربیشه) و دو تاریخ کاشت (مرداد و اسفندماه) در سال‌های ۱۳۹۹-۱۳۹۸ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح رطوبتی و سه رقم کینوا بود. آزمایش به‌صورت تجزیه مرکب ارزیابی گردید و اثرات تاریخ کاشت و مکان به‌صورت ثابت درنظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که در کشت مردادماه صفات محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت‌ها، درصد سدیم، درصد پتاسیم، محتوای کلروفیلa، کاروتنوئیدها، محتوای پرولین و کل کربوهیدرات‌های محلول برگ به‌ترتیب ۱۷/۱۰، ۷۴/۶۲، ۹۵/۵۱، ۳۱/۹، ۱۵/۹۶، ۲۰/۸۱، ۵۶/۱۲ و ۳۱/۲۶ درصد افزایش و محتوای کلروفیلb، ۱۳/۱۵ درصد کاهش نسبت به کشت اسفندماه داشتند همچنین در سربیشه صفات محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت، درصد پتاسیم و کاروتنوئیدهای برگ به‌ترتیب ۳/۵۳، ۳۸/۶۵، ۹۴/۱۹ و ۹/۳۰ درصد بیشتر از بیرجند اما صفات درصد سدیم، محتوای کلروفیلa، محتوای کلروفیلb، پرولین و کل کربوهیدرات محلول برگ به‌ترتیب ۴، ۱/۸۸، ۱۵/۶۷، ۵۱/۰۲ و ۳۰/۴۱ درصد کمتر از بیرجند بودند. رقم گیزاوان نسبت به دو رقم دیگر، دارای مقادیر بالاتری از صفات بیوشیمیایی بود که این امر منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک در رقم مذکور گردید و تنش رطوبتی نیز موجب کاهش معنی‌دار محتوای تسبی آب برگ و افزایش معنی‌دار سایر صفات بیوشیمیایی برگ کینوا گردید. در اکثر صفات مورد بررسی، بین سطوح ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، درصد سدیم و پتاسیم، کلروفیل a و b، کم‌آبیاری، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

کینوا گیاهی دولپه از خانواده تاج‌خروسیان (Amaranthaceae) می‌باشد (Jacobsen, Quispe, & Mujica, 2001). اهمیت اقتصادی کینوا تنها به دلیل استفاده از دانه‌ها به‌عنوان ماده غذایی یا موارد مشابه نمی‌باشد بلکه برگ این گونه نیز می‌تواند به‌عنوان یک سبزی با ارزش غذایی بالا مانند اسفناج مصرف گردد، همچنین برگ‌های کینوا نسبت به دانه‌ها، مغذی‌تر و دارای ترکیبات شیمیایی مطلوب‌تری می‌باشند (Vázquez-Luna *et al.*, 2019). در مطالعات مختلف، صفات بیوشیمیایی برگ ارقام کینوا مورد بررسی قرار گرفته و در اکثر آن‌ها، بین ارقام اختلاف معنی‌دار مشاهده شده است. در مطالعه سان و همکاران (Sun, Liu, Bendevis, Shabala, & Jacobsen, 2014)، محتوای پتاسیم آوند چوبی (در شرایط شاهد و ۱۶ روز پس از کاشت) در ارقام تیتیکاکا و آچاچینو به‌ترتیب ۲۷۲/۱ و ۴۳۷/۷ میلی‌گرم بر لیتر بود. بر اساس گزارش ناز و همکاران (Naz, Akram, & Kong, 2020)، محتوای کلروفیلb برگ کینوا به‌صورت معنی‌داری (در سطح احتمال ۰/۰۰۱ درصد)، تحت تأثیر رقم قرار

۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۳- عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: smahmoodi@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.85306.1279

گرفت. صدیق و همکاران (Saddiq *et al.*, 2021) گزارش نمودند که در صفت محتوای کلروفیلb، ۸۴/۲۱ درصد تنوع بین ۲۰ ژنوتیپ مشاهده شد و ژنوتیپ PI-478414 بیشترین مقدار را داشت. در مطالعه دیگر محتوای کلروفیلb در ارقام CPAC4، CPAC11، BRS-Piabiru و CPAC19 به‌ترتیب ۱۴/۴، ۱۶/۵، ۱۶/۵ و ۱۸/۹میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود (da Silva *et al.*, 2021). پاتان و همکاران (Pathan *et al.*, 2019) محتوای پرولین برگ کینوا رقم Ames-13739 را ۱/۵۱ گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک گزارش نمودند. در مطالعه پراگر و همکاران (Präger, Munz, Nkebiwe, Mast, & Graeff-Hönninger, 2018)، محتوای پرولین در چهار رقم کینوا Zeno، Jessie، Puno و Titicaca در سال ۲۰۱۵ به‌ترتیب ۲/۲۵، ۲/۷۰، ۳/۱۴ و ۳/۱۷ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم پروتئین خام و در سال ۲۰۱۶ به‌ترتیب ۲/۸۵، ۳/۲۴، ۳/۳۴ و ۲/۹۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم پروتئین خام بود.

مطالعات در مورد تطابق و سازگاری کینوا در ۸۰ کشور جهان صورت گرفته است (Bazile & Baudron, 2015). سطح زیر کشت برای تولید بذر کینوا کم و در حدود ۱۸۵۰۰۰ هکتار (عمدتاً در بولیوی، پرو و اکوادور) می‌باشد (FAOSTAT, 2019). تنوع ژنتیکی و تطابق‌پذیری بالا با شرایط مختلف محیطی، موجب تسهیل در گسترش این گونه گردیده است. جاکوبسن (Jacobsen, 2003) بیان می‌کند که کینوا از سطح دریا تا ۴۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا، از ۴۰ درجه عرض جنوبی تا ۲ درجه عرض شمالی، از آب و هوای خنک تا گرمسیری (مقاومت در محدوده دمایی ۴- تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد) و از آب و هوای بسیار خشک و بارندگی سالانه ۱۰۰– ۲۰۰ میلی‌متر تا رطوبت نسبی ۸۸ درصد، می‌تواند کشت گردد. در همین راستا در تحقیق آدامچوسکا– سووینسکا و همکاران (Adamczewska-Sowińska, Sowiński, & Jama-Rodzeńska, 2021)، گیاه کینوا در دو محل پساری و پاولویتس کشت نموده و نام این عامل را نوع خاک گذاشتند. خاک منطقه پساری دارای بافت رسی با اسیدیته ۷/۲۵ و ماده آلی ۱/۸ درصد و بافت خاک منطقه پاولویتس، شنی با اسیدیته ۶ (اسیدی) و ۱/۱ درصد ماده آلی بود، همچنین میزان فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس در منطقه پاولویتس بیشتر بود. درنتیجه منطقه پساری را با عنوان خاک متوسط و منطقه پاولویتس را با عنوان خاک سبک، مورد بررسی قرار دادند. براساس گزارش ایشان، محتوای پتاسیم برگ کینوا در خاک متوسط (۱۰۲۰۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک) بیشتر از خاک سبک (۹۷۸۹ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک) بود اما از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

به دلیل تنوع اقلیمی ایران، یکی از موارد قابل‌توجه، بررسی اثر تاریخ کاشت به‌عنوان مهم‌ترین عامل موثر در سازگاری و افزایش عملکرد گیاه کینوا است (Fazeli, Akbari, Akbari, Naderi Arefi, & Benakashani, 2021). وان دن بسلار و همکاران (Van den Besselaar, Sanchez-Lorenzo, Wild, Klein Tank, & de Laat, 2015) بیان نمودند که با تأخیر در کاشت، کارایی گیاهان به شدت به خطر افتاده زیرا مدت زمان مورد نیاز برای دریافت نور و دمای مطلوب برای گیاه فراهم نمی‌باشد. رشید و همکاران (Rashid *et al.*, 2021) گیاه کینوا را در دو تاریخ کاشت ۱۷ نوامبر (نرمال) و ۲۴ دسامبر (با تأخیر) بررسی و بیان نمودند که تأخیر در کاشت تأثیر نامطلوبی بر محتوای کاروتنوئید برگ داشت و منجر به کاهش آن گردید.

خشکی یکی از عوامل تنش‌زای محیطی برای گیاهانی که در معرض تنش آبی شدید، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Manaa *et al.*, 2021). کمبود آب تولید محصولات را با مشکلاتی مواجه و در نتیجه کاهش قابل‌توجهی در عملکرد آن‌ها ایجاد می‌نماید (Lin & Chao, 2021). کینوا نیاز آبی کمی دارد و می‌تواند با موفقیت تحت شرایط تنش خشکی رشد نماید (Al-Naggar, Abd El-Salam, Badran, & El-Moghazi, 2017). در طول دوره‌های خشکی، کینوا می‌تواند سطح برگ خود را حفظ نموده و فعالیت‌های فتوسنتزی را تنظیم کند (Jacobsen *et al.*, 2009) و با استفاده از ویژگی‌های ساختاری از قبیل سلول‌های کوچک با دیواره نازک، بافت‌های منعطف و پتانسیل اسمزی پایین، سطح برگ را کاهش می‌دهد (Garcia, 2003). سایر ویژگی‌ها برای حفظ فشار تورژسانس از طریق تنظیم اسمزی در طول دوره تنش خشکی شامل تجمع یون‌های معدنی (از قبیل کلسیم، پتاسیم و سدیم) و بهبود سنتز عناصر آلی (کاروتنوئیدها و پرولین) است (Jensen *et al.*, 2000; Jacobsen, Liu, & Jensen, 2009). ژنوتیپ‌های کینوا چندین مکانیزم مقاومت به خشکی دارند که گیاه را قادر به رشد و نمو در شرایط تنش خشکی می‌نماید (Abrar *et al.*, 2022; Taaime *et al.*, 2022). در مطالعات متعدد با افزایش تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (Morales, Zurita-Silva, Maldonado, & Silva, 2017)، به نحوی که در مطالعه سلیمانی‌نیا و همکاران (Solimaninya, Mohtadi, & Movahhedi Dehnavi, 2021) میزان این صفت در بالاترین سطح خشکی (۹- بار) حدود ۴۶ درصد کاهش یافت. گونزالز و همکاران (Gonzalez, Gallardo, Hilal, Rosa, & Prado, 2009) محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای شاهد و تنش خشکی را به‌ترتیب ۱/۴±۹۷/۵ و ۱/۴±۷۰/۳ درصد، مرادی و همکاران (Moradi, Rohi, Hosseinpanahi, & Siosemardeh, 2023) میزان این صفت را در تیمارهای ۱۰۰درصد و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب ۸۱/۹۸ و ۶۹/۱۹ درصد و تارک و همکاران (Tarek, Sadak, & Dawood, 2017) نیز میزان آن را در شرایط بدون تنش و تنش به‌ترتیب ۰/۴۹±۸۱/۲۶ و ۴۱/۷۰±۸۰/۴۱ درصد گزارش نمودند. زهین و همکاران (Zaheen *et al.*, 2023) بیان نمودند که در شرایط شاهد

(بدون مصرف بور و پتاسیم) با اعمال تنش خشکی، محتوای سدیم برگ کینُوا از حدود ۲/۶ به ۳/۸ پی‌پی‌ام افزایش یافت. الشامی و همکاران (El-Shamy *et al.*, 2022) نیز بیان نمودند که محتوای پتاسیم برگ کینوا با اعمال کم‌آبیاری کاهش یافت به نحوی که در سال ۲۰۲۰–۲۰۱۹ از ۳/۸۱ به ۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک و در سال ۲۰۲۱–۲۰۲۰ از ۳/۸۷ به ۳/۱۱ میلی‌گرم در گرم ماده خشک رسید. لین و چائو (Lin & Chao, 2021) گزارش نمودند که محتوای کلروفیل برگ کینوا در مرحله رویشی، با افزایش تنش خشکی از ۹۰ درصد به ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد محتوای آب، افزایش یافت اما این افزایش معنی‌دار نبود اما در مرحله رشد زایشی، محتوای کلروفیل در تیمارهای ۹۰ و ۷۵ درصد، به‌صورت قابل‌توجهی بالاتر (۱/۳ و ۱/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد (۰/۹ و ۰/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. مانا و همکاران (Manna *et al.*, 2021) بیان نمودند که میزان کلروفیل b در شرایط شاهد، تیمار خشکی به مدت یک‌هفته و دو هفته به‌ترتیب ۰/۳۴۱، ۰/۳۵۳ و ۰/۲۳۱ میکروگرم بر گرم وزن تر بود. غلامی و همکاران (Gholami, Dehaghi, Rezazadeh, & Naji, 2022) گزارش نمودند که در شرایط شاهد (بدون پرایمینگ) غلظت کلروفیل b در برگ کینوا کاهش یافت و میزان آن در خشکی صفر، ۰/۴- و ۰/۸- به‌ترتیب ۰/۵۲۲، ۰/۴۰۲ و ۰/۲۷۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود. در مطالعات دیگر نیز، کاهش ۱۸/۶۷ درصدی (Tarek *et al.*, 2017) و ۲۸ درصدی (Elewa, Sadak, & Saad, 2017) در محتوای کلروفیل b گزارش شد. در مطالعات متعدد کاهش در محتوای کاروتنوئیدهای برگ کینوا در اثر تنش خشکی، مشاهده شد (El-Shamy *et al.*, 2022; Gholami *et al.*, 2022; Naz *et al.*, 2020; Dashab & Omidi, 2021). همچنین میزان این کاهش در مطالعه الوا و همکاران (Elewa *et al.*, 2017)، ۳۷/۵ و در مطالعه مرادی و همکاران (Moradi *et al.*, 2023)، ۲۴/۱۹ درصد بود. نادعلی و همکاران (Nadali, Asghari, Abbasdokht, Dorostkar, & Bagheri, 2022) نیز بیان کردند که کمترین محتوای پرولین در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. ساداک و همکاران (Sadak, El-Bassiouny, & Dawood, 2019) گزارش نمودند که در شرایط تنش خشکی، محتوای کربوهیدرات‌های برگ کینوا از قبیل گلوکز، ساکارز، ترهالوز، کل قندهای محلول و نشاسته، افزایش یافتند. سایر تحقیقات نیز این افزایش را گزارش نمودند (Lin & Chao, 2021; Naz *et al.*, 2020). داشاب و امیدی (Dashab & Omidi, 2021) غلظت قندمحلول در سطوح شاهد، ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- را به‌ترتیب ۶/۱، ۴/۱، ۱/۱، ۱/۵ و ۲/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ گزارش نمودند.

با توجه به این‌که برگ‌های کینوا نیز همانند دانه‌ها دارای اهمیت هستند و حتی پتانسیل بالقوه‌ای برای مکمل‌های غذایی محسوب می‌شوند (Esfandiari sabzevar, Tatari, & Farokhi, 2018)، در نتیجه هدف از این مطالعه بررسی برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ ارقام مختلف کینوا در شرایط اعمال تنش رطوبتی می‌باشد. این پژوهش در دو تاریخ کاشت بهاره و تابستانه و دو منطقه از استان خراسان جنوبی با شرایط متفاوت آب و هوایی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش به‌صورت تجزیه مرکب در دو تاریخ کاشت (نیمه اول مردادماه و نیمه دوم اسفندماه) و دو مکان (شهرستان بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ دقیقه و ۱۳ درجه شرقی با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریاهای آزاد و شهرستان سربیشه با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ دقیقه و ۸۰ درجه شرقی با ارتفاع ۱۸۳۹ متر از سطح دریاهای آزاد) در سال‌های ۹۹–۱۳۹۸ اجرا و اثر تاریخ کاشت و مکان، به‌صورت ثابت وارد آزمایش گردید. خصوصیات آب، خاک و پارامترهای هواشناسی در هر دو تاریخ کاشت و مکان مورد مطالعه در جدول و شکل ۱ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل پنج سطح مختلف رطوبتی (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰و ۱۲۵ نیاز آبی گیاه) و فاکتور دوم شامل سه رقم کینوا (تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا) بود.

عملیات آماده‌سازی زمین در هر دو تاریخ کاشت و دو مکان، حداقل یک‌هفته قبل از کاشت صورت گرفت. ابعاد هر کرت سه در چهار متر بود و یک متر فاصله بین کرت‌ها به‌عنوان اثر حاشیه‌ای و تعداد ۶۰ بوته در مترمربع به‌عنوان تراکم مطلوب کاشت کینوا (Samadzadeh, Zamani, & Fallahi, 2020) درنظر گرفته شد. بذور ارقام گیزاوان و ردکارینا (به‌ترتیب بومی هلند: Jacobsen, 2017 و مصر: Bazile *et al.*, 2016) از موسسه اصلاح نهال و بذر کشور و بذور رقم تیتیکاکا (بومی دانمارک: Jacobsen, 2017) از اداره جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۸ تهیه گردید. تمامی ارقام مورد مطالعه نسبت به طول روز بی‌تفاوت می‌باشند و همچنین ارقام تیتیکاکا و گیزاوان جزء ژنوتیپ‌های زودرس و رقم ردکارینا جزء ژنوتیپ متوسطرس محسوب می‌شوند (Bagheri, 2018). پس از سبز شدن و رشد اولیه گیاهچه‌ها، دو مرحله تنک جهت رسیدن به تراکم مورد نظر صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور انجام شد. قبل از اعمال سطوح رطوبتی، آبیاری به‌صورت سنگین و پس از اعمال (مرحله ۶ الی ۸ برگ حقیقی)، براساس نیاز آبی کینوا بود. اعمال تیمار آبیاری بر اساس حجم آب آبیاری (هر هفت روز یکبار) انجام و از کنتور حجمی جهت اعمال دقیق سطوح مختلف آبیاری استفاده گردید. به منظور محاسبه نیاز آبی گیاه کینوا، در ابتدا

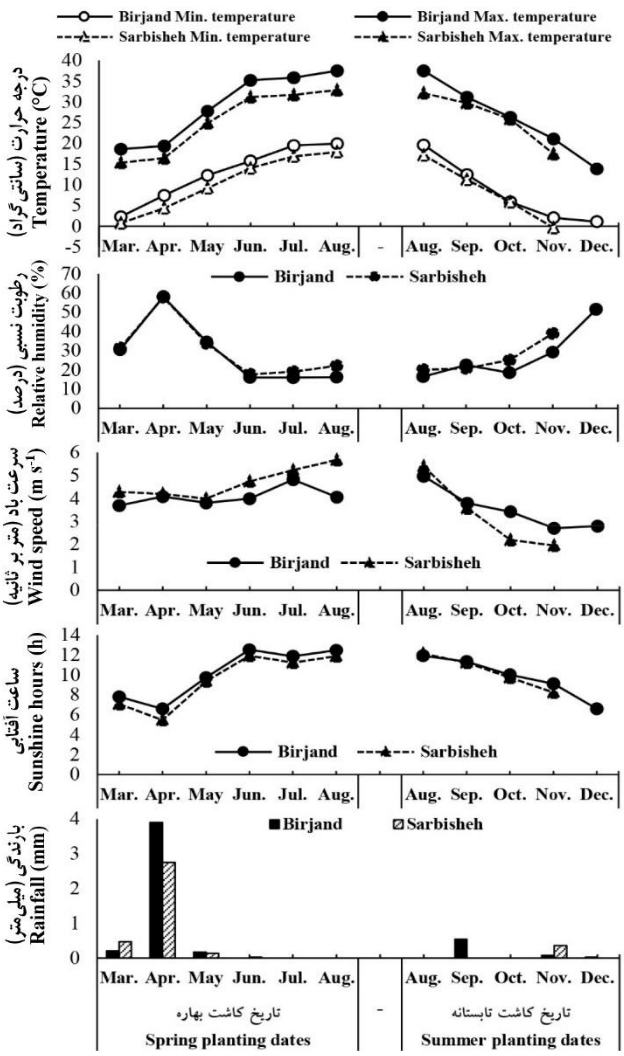
تبخیر و تعرق مرجع (ETo) با استفاده از نرم‌افزار Cropwat Ver. 8.0 به روش فائو پنمن- مانتیث و براساس آمار هواشناسی در شهرستان‌های بیرجند و سربیشه، در طول بازه یک هفته‌ای برآورد گردید و سپس از ضرب نمودن عدد تبخیر و تعرق مرجع، در ضریب گیاهی (Kc) که بر اساس مرحله رشدی و با استفاده از برآیند مطالعات مختلف به‌دست آمده بود (در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب ۰/۵، ۰/۷، ۱/۱ و ۰/۶)، میزان تبخیر و تعرق کینوا (ETc) به‌صورت روزانه و برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه گردید. سپس از طریق ضرب نمودن عدد برآوردشده در ضرایب ۱/۲۵، ۰/۷۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵، نیاز آبی گیاه کینوا به‌ترتیب در سطوح ۱۲۵، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی به‌صورت روزانه محاسبه شد که با ضرب این اعداد در طول بازه آبیاری، میزان آب آبیاری به‌دست آمد. در سطح ۱۰۰درصد نیاز آبی، مجموع حجم آب آبیاری در کشت مرداد و اسفندماه در بیرجند به‌ترتیب ۳۹۹۳/۳ و ۶۳۹۰ مترمکعب در هکتار و در سربیشه به‌ترتیب ۵۳۴۰ و ۷۳۷۵/۸ مترمکعب در هکتار بود. باتوجه به این‌که روش فائو پنمن- مانتیث، روشی تجربی جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد، لذا سطح ۱۲۵درصد نیازآبی، به منظور ارزیابی دقیق سطح ۱۰۰ درصد نیازآبی کینوا در اقلیم خشک استان خراسان جنوبی درنظر گرفته شد تا خطای ناشی از کم برآوردی میزان نیاز آبی کینوا (در سطح ۱۰۰٪) برطرف گردد. درنتیجه سطح ۱۲۵ درصد نیازآبی، معادل بیش‌آبیاری نمی‌باشد.

جدول ۱- آزمایش‌های خاک و آب مناطق مورد مطالعه

Table 1- The results of soil and water tests in the studied areas

Water آب				
	Location مناطق			
	Birjand بیرجند		**Sarbisheh سربیشه**	
تاریخ کاشت Planting date	**March اسفند**	**August مرداد**	**March اسفند**	**July مرداد**
pH	8.1	8.1	7.5	7.5
($dS\ m^{-1}$) EC	2.64	3.32	2.88	2.78
($meq\ L^{-1})^{0.5}$ SAR	1.69	7.15	1.97	9.51
($meq\ L^{-1}$) Na	4.64	21.21	4.44	19.67
($meq\ L^{-1}$) Mg	0.16	0.19	0.23	0.24
($meq\ L^{-1}$) Ca	3.70	4.46	4.69	4.30
$meq\ L^{-1}$) K	11.90	12.78	4.62	4.33
($meq\ L^{-1}$) Co_3^{2-}	1.14	0.58	0.00	0.00
HCo_3^{2-}($meq\ L^{-1}$)	3.93	3.71	2.50	1.59
($meq\ L^{-1}$) Cl^-	15.84	20.53	19.10	17.91

Soil خاک			
		Location مناطق	
		Birjand بیرجند	**Sarbisheh سربیشه**
Soil pattern بافت خاک		Sandy loam	Sandy loam
فراوانی نسبی ذرات خاک Relative abundance of soil particles (%)	Clay	4	12
	Silt	28	20
	Sand	68	68
pH		8.1	7.7
($dS\ m^{-1}$) EC		2.08	10.31
($meq\ L^{-1})^{0.5}$ SAR		0.40	23.86
($meq\ L^{-1}$) Na		1.22	84.23
($meq\ L^{-1}$) Mg		15	10
($meq\ L^{-1}$) Ca		3.75	15
K available ($mg\ kg^{-1}$)		280	320
P available ($mg\ kg^{-1}$)		2.4	39.4
Organic carbon (٪)		0.23	0.18
Organic matter (٪)		0.40	0.32
Nitrogen ($meq\ L^{-1}$)		0.015	0.012



شکل ۱- مؤلفه‌های مهم اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی بیرجند و سربیشه

Figure 1- Some important climate parameters of Birjand and Sarbisheh meteorological stations

در طول فصل رشد، کنترل‌های مربوط به آفات، بیماری‌ها و مبارزه با علف‌های‌هرز صورت گرفت. جهت سنجش برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کینوا، در مرحله ۵۰ درصد گلدهی اقدام به نمونه‌برداری از برگ گیاه گردید و صفات محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، محتوای رنگدانه‌ها از قبیل کلروفیلa، کلروفیلb و کاروتنوئیدها، محتوای یون‌ها از قبیل یون سدیم و پتاسیم و همچنین محتوای پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ مورد آزمایش قرار گرفت.

محتوای نسبی آب برگ با استفاده از روش شونفلد و همکاران (Schonfeld, Johnson, Carver, & Morhinweg, 1988) و رابطه (۱) ارزیابی گردید که در این رابطه، FW: وزن تر، TW: وزن آماس و DW: وزن خشک برگ‌ها (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) می‌باشند.

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} * 100 \qquad (۱)$$

نشت الکترولیت به روش والنتوویک و همکـاران (Valentovic, Luxova, Kolarovi, & Gasparikora, 2006) و به کمک رابطـه (۲) محاسبه شد.

$$\%EL = (EC_1/EC_2) * 100 \qquad (۲)$$

غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم برگ، از روش آون (Owen, 1992) با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل و منحنی استاندارد اندازه‌گیری شد. سنجش رنگدانه‌های فتوسنتزی از روش آرنون و همکاران (Arnon, 1967) و با استفاده از روابطه (۳) تا (۵) صورت گرفت که در این رابطه‌ها V، حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ) و A، جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، W، وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

$$Chlorophyll\ A = [(19.3 \times A663) - (0.86 \times A645)] \times V/_{100 \times W} \qquad (۳)$$

$$Chlorophyll\ B = [(19.3 \times A645) - (3.6 \times A663)] \times V / 100 \times W \quad (۴)$$

$$Carotenoides = [(100 \times A470) - (3.27 \times A663) - (104 \times A645)] / 227 \quad (۵)$$

محتوای پرولین آزاد بافت برگ به روش بیتس و همکاران (Bates, Waldren, & Teare, 1973) در طول موج ۵۲۰ نانومتر و محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل برگ به روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen, Einerich, & Sanchez-Diaz, 1992) در طـول مـوج ۶۲۵ نـانومتر با استفاده از منحنی استاندارد (به‌ترتیب استفاده از غلظت‌های مختلف پرولین و گلوکز) و برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ سنجش شدند.

جهت پردازش داده‌ها و محاسبات آماری به‌صورت تجزیه واریانس مرکب از نرم‌افزار SAS ver. 9.2 استفاده و میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار محافظت‌شده (LSD) با سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد. یکنواختی واریانس‌های خطا در آزمایش، توسط آماره بارتلت آزمون شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ: نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر تاریخ کاشت، سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت×رقم ($P\leq$۰/۰۱) و اثر مکان، تاریخ کاشت×مکان×رقم ($P\leq$۰/۰۵) تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند (جدول ۲).

اثر ساده تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم: براساس نتایج مقایسه میانگین، محتوای نسبی آب برگ در کشت مردادماه، ۱۴/۶ درصد بیشتر از اسفندماه بود (جدول ۳). احتمالاً با توجه به این‌که در کشت اسفندماه، بازه گلدهی با گرمای هوا برخورد می‌نماید (اواخر اردیبهشت ماه)، در نتیجه موجب کاهش بیشتر محتوای نسبی آب می‌گردد اما در کشت مردادماه، بازه گلدهی در اوایل مهرماه قرار می‌گیرد. عسگرنژاد و همکاران (AsgarNezhad, Zareei, & Zarezadeh, 2015) گزارش نمودند که با تأخیر در کاشت به دلیل تنش گرمای انتهایی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در کشت مردادماه، مربوط به رقم گیزاوان به میزان ۷۷/۶۷ درصد و کمترین آن در کشت اسفندماه مجدداً مربوط به رقم گیزاوان با ۵۹/۶۰ درصد بود. به‌طور کلی رفتار ارقام در دو تاریخ کاشت کاملاً متفاوت بوده به نحوی که در کشت مردادماه، بالاترین محتوای نسبی آب برگ در رقم گیزاوان و کمترین آن در رقم تیتیکاکا مشاهده شد اما در کشت اسفندماه کاملا برعکس بود و بیشترین محتوای نسبی به رقم تیتیکاکا و کمترین آن به رقم گیزاوان اختصاص داشت. گزارش شده است که تحت شرایط تنش ملایم، ژنوتیپ‌هایی با محتوای نسبی آب برگ بالا، ممکن است بتوانند انتخابی برای ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا باشند (Ebrahimiyan, Majidi, Mirlohi, & Noroozi, 2013).

اثر ساده مکان و اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: محتوای نسبی آب برگ در سربیشه، ۳/۴۱ درصد بیشتر از بیرجند بود (جدول ۳). با توجه به این‌که بیرجند از میانگین درجه حرارت بالاتری نسبت به سربیشه برخوردار است؛ در نتیجه میزان تبخیر از خاک و تعرق از گیاه افزایش و به‌دنبال آن محتوای نسبی آب برگ در این منطقه کاهش یافت. محتوای نسبی آب گیاه، یکی از صفات مهمی است که رابطه مستقیم با محتوای آب خاک دارد و نشان‌دهنده وضعیت آبی خاک است (Saraker, Rahman, & Paul, 1999). براساس گفته‌های ونکتزوالر و رامش (Venkateswarlu & Ramesh, 1993)، کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از عوامل مؤثر در کاهش محتوای نسبی آب شناخته شده است. در بررسی اثر متقابل می‌توان بیان نمود که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در کشت مردادماه سربیشه و رقم گیزاوان (۷۹/۴۱ درصد) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با کشت همین رقم در مردادماه بیرجند (۷۵/۹۴ درصد) نداشت. به‌طور کلی، بین تاریخ کاشت به‌جز در کشت رقم تیتیکاکا در سربیشه، در سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. اختلاف بین دو مکان کاشت نیز تنها در کشت رقم تیتیکاکا در اسفندماه معنی‌دار بود (جدول ۴).

اثر سطوح رطوبتی: براساس نتایج مقایسه میانگین، بین سطوح ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و همچنین سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با کاهش میزان آب آبیاری از سطح ۱۲۵ به سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب ۲/۳۱، ۸/۳۰، ۱۴/۱۲ و ۱۷/۷۰ درصد کاهش یافت (جدول ۳). محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش محسوب می‌شود؛ محتوای نسبی آب برگ بیشتر باعث افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه، افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita, & Barsa, 2009). همچنین محتوای نسبی آب مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری مقدار آب در بافت‌های گیاه بوده و به همین دلیل کاربرد آن بیش از سایر روش‌هاست و تنش خشکی به‌طور نسبی پتانسیل و محتوای نسبی آب برگ را کاهش می‌دهد (Maleky, Saba, & Shekary, 2009). به نظر می‌رسد که گیاهانی که تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی، در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط خشکی می‌گردد (Khorshidi Benam, Rahimzadeh Khoii, Mirhadi, & Nour-Mohamadi, 2002).

جدول ۲- تجزیه مرکب صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ کینوا

Table 2- Composite analysis of quinoa leaf physiological and biochemical traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	MS میانگین مربعات								
		محتوای نسبی آب RWC	نشت الکترولیت EL	غلظت یون‌ها Ion concentration: سدیم Na	غلظت یون‌ها Ion concentration: پتاسیم K	رنگدانه‌های فتوسنتزی Photosynthetic pigments: کلروفیل a a Chlorophyll	رنگدانه‌های فتوسنتزی Photosynthetic pigments: کلروفیل b b Chlorophyll	رنگدانه‌های فتوسنتزی Photosynthetic pigments: کاروتنوئیدها Carotenoids	پرولین Proline	کربوهیدرات محلول Total carbohydrate
Planting date تاریخ کاشت	1	5335.81^{ns}	27523.31**	4.57**	274.2**	229.13**	15.03**	0.66**	4059.03**	2496.40**
Location مکان	1	259.05*	9775.13**	0.01^{ns}	1485.4**	3.72^{ns}	21.94**	0.09**	9915.78**	4393.25**
P × L تاریخ کاشت × مکان	1	10.31^{ns}	18895.0**	0.09^{ns}	1135.9**	50.37**	9.06*	0.22**	14195.4**	22776.98**
Block (P × L) بلوک (تاریخ کاشت × مکان)	8	35.45	43.19	0.026	1.89	2.02	1.54	0.011	17.26	76.06
Cultivar رقم	2	107.72^{ns}	67.79^{ns}	0.038^{ns}	32.8**	14.17^{ns}	44.17**	0.003^{ns}	157.54*	176.81*
Moisture levels سطوح رطوبتی	4	1164.52**	593.72**	0.132**	41.59**	64.55**	21.51**	0.25**	560.95**	360.96**
C × M رقم × سطوح رطوبتی	8	43.50^{ns}	17.89^{ns}	0.017^{ns}	0.57^{ns}	3.40^{ns}	4.08*	0.005^{ns}	12.07^{ns}	40.16^{ns}
L × C مکان × رقم	2	107.30^{ns}	38.28^{ns}	0.024^{ns}	18.12**	4.66^{ns}	2.65^{ns}	0.01^{ns}	13.13^{ns}	22.92^{ns}
L × M مکان × سطوح رطوبتی	4	63.47^{ns}	70.87^{ns}	0.013^{ns}	2.08^{ns}	6.11^{ns}	1.91^{ns}	0.023^{ns}	185.95**	168.30**
L × C × M مکان × رقم × سطوح رطوبتی	8	25.04^{ns}	26.46^{ns}	0.013^{ns}	1.16^{ns}	2.56^{ns}	3.14^{ns}	0.008^{ns}	28.03^{ns}	26.42^{ns}
P × C تاریخ کاشت × رقم	2	729.27**	470.32**	0.028^{ns}	2.33^{ns}	21.75*	7.27*	0.10**	36.17^{ns}	37.35^{ns}
P × M تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی	4	58.17^{ns}	48.42^{ns}	0.052**	1.64^{ns}	6.19^{ns}	2.11^{ns}	0.051*	153.83*	51.64^{ns}
P × C × M تاریخ کاشت × رقم × سطوح رطوبتی	8	11.29^{ns}	18.32^{ns}	0.017^{ns}	1.32^{ns}	3.86^{ns}	2.77^{ns}	0.016^{ns}	30.99^{ns}	47.65^{ns}
P × L × C تاریخ کاشت × مکان × رقم	2	197.97*	87.07^{ns}	0.003^{ns}	6.17^{ns}	15.94^{ns}	9.98**	0.08**	164.01*	170.22*
P × L × M تاریخ کاشت × مکان × سطوح رطوبتی	4	51.47^{ns}	63.79^{ns}	0.004^{ns}	5.67^{ns}	3.20^{ns}	1.49^{ns}	0.008^{ns}	54.25^{ns}	28.37^{ns}
P × L × C × M تاریخ کاشت × مکان × رقم × سطوح رطوبتی	8	61.06^{ns}	20.10^{ns}	0.019^{ns}	0.46^{ns}	4.51^{ns}	1.67^{ns}	0.004^{ns}	19.49^{ns}	41.12^{ns}
Error خطا	112	5885.56	52.10	0.013	2.62	5.67	1.82	0.01	45.04	39.62
Total کل	179	114.73	376.93	0.044	19.86	8.28	3.30	0.027	215.88	45.04
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)		10.5	15.9	23.9	18.1	15.6	32.8	24.4	31.0	22.0

*، ** و ^{ns}: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ کینوا

Table 3- Mean comparison of simple effects on quinoa leaf physiological and biochemical traits

Experiment factor عامل‌های آزمایشی	Levels of experiment factor سطوح عامل‌های آزمایشی	محتوای نسبی آب RWC (%)	نشت الکترولیت EL (%)	سدیم Na	پتاسیم K	کلروفیل a Chlorophyll a ($mg\ g^{-1}$ FW)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg\ g^{-1}$ FW)	کاروتنوئیدها Carotenoids ($mg\ g^{-1}$ FW)	پرولین Proline ($mmol\ g^{-1}$ FW)	کربوهیدرات محلول Total carbohydrate ($mg\ g^{-1}$ FW)
تاریخ کاشت Planting date	اسفندماه July/August	63.68 b	33.14 b	0.33 b	7.73 b	14.14 b	4.40 a	0.464 b	16.92 b	23.83 b
	مردادماه March	74.57 a	57.87 a	0.65 a	10.21 a	16.40 a	3.82 b	0.586 a	26.42 a	31.28 a
مکان Location	بیرجند Birjand	67.92 b	38.14 b	0.50 a	6.10 b	15.42 a	4.46 a	0.502 b	29.10 a	32.49 b
	سربیشه Sarbisheh	70.32 a	52.88 a	0.48 a	11.85 a	15.13 a	3.76 b	0.548 a	14.25 b	22.16 a
رقم Cultivar	تیتیکاکا Titicaca	70.64 a	46.72 a	0.51 a	8.16 b	14.78 b	3.17 c	0.534 a	19.96 b	26.42 b
	ردکارینا Redcarina	68.09 a	44.74 a	0.46 b	9.15 a	15.28 ab	4.30 b	0.520 a	21.87 ab	27.21 ab
	گیزاوان Giza1	68.64 a	45.06 a	0.51 ab	9.61 a	15.75 a	4.85 a	0.521 a	23.185 a	29.42 a
سطوح رطوبتی (نیاز آبی) Moisture levels (Water requirement)	125%	75.53 a	41.13 d	0.41 d	7.50 c	13.62 c	3.23 b	0.421 c	17.30 c	23.73 d
	100%	73.79 a	42.44 cd	0.46 cd	8.48 b	14.30 c	3.67 b	0.467 bc	18.97 bc	25.91 cd
	75%	69.27 b	45.08 bc	0.50 bc	8.87 b	15.47 b	3.84 b	0.525 b	20.48 b	26.83 bc
	50%	64.87 c	47.68 b	0.53 ab	9.82 a	15.96 ab	4.65 a	0.587 a	25.38 a	28.86 b
	25%	62.16 c	24.50 a	0.57 a	10.19 a	17.00 a	5.14 a	0.626 a	26.23 a	32.44 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون و فاکتور آزمایشی، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means in each column and each experiment factors followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه‌گانه بر محتوای نسبی آب برگ

Table 4- Mean comparison of double and triple interaction effects on RWC (%)

تاریخ کاشت × مکان × رقم
Planting date × Location × Cultivar

Location	Planting date	Cultivar Giza1	Cultivar Redcarina	Cultivar Titicaca
Birjand	مردادماه March	75.94 ab	73.49 b	71.39 b
	اسفندماه August	61.58 cd	60.36 cd	64.78 c
Sarbisheh	مردادماه March	79.41 a	73.15 b	74.03 b
	اسفندماه July	57.62 d	65.38 c	72.35 b

تاریخ کاشت × رقم
Planting date × Cultivar

Planting date	Cultivar Giza1	Cultivar Redcarina	Cultivar Titicaca
مردادماه March	77.67 a	73.32 b	72.71 b
اسفندماه July/August	59.60 d	62.87 d	68.57 c

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

در گیاهان با وقوع تنش خشکی، تطابق اسمزی رخ خواهد داد و محتوای مواد محلول در سلول‌های برگ افزایش می‌یابد. این بالابودن محتوای مواد محلول باعث می‌شود که وقتی برگ گیاه در آب مقطر غوطه‌ور می‌شود، مواد سیتوپلاسمی به محیط آپوپلاستی نشت می‌کنند و آبگیری بیشتری در مقایسه با برگ شاهد داشته و در نتیجه محتوای آب برگ در گیاه تنش دیده پایین می‌باشد (Karmollachaab & Gharineh, 2013). بنابر گزارش زنگنه و همکاران (Zanganeh, Ghobadi, & KhorramiVafa, 2022)، در تیمار تنش خشکی ملایم (۶۵ درصد تخلیه رطوبت خاک) و شدید (۸۰ درصد تخلیه رطوبت خاک) میزان کاهش محتوای نسبی آب برگ کینوا رقم سانتاماریا نسبت به شاهد (۵۰ درصد تخلیه رطوبت خاک) به‌ترتیب ۱۵/۵۸ و ۲۶/۴۸ درصد بودند و این مقادیر نشان می‌دهند که تنش ملایم و شدید، آب میان‌بافتی برگ کینوا را به‌صورت قابل‌توجهی کاهش داده‌اند. جمالی و همکاران (Jamali, Shaifan, & Sajadi, 2019) بیان نمودند که محتوای نسبی آب برگ کینوا تحت تأثیر سطوح کم‌آبیاری قرار گرفت به نحوی که در سطوح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیازآبی، محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب ۷۹/۵۴، ۷۳/۷۶ و ۷۳/۱۴ درصد بود. براساس مطالعه لین و چائو (Lin & Chao, 2021) نیز محتوای نسبی آب برگ کینوا در برابر کم‌آبیاری کاهش یافت؛ ایشان بیان نمودند که بین سطوح ۹۰، ۸۵ و ۵۰ درصد محتوای آب، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد اما این اختلاف در زمان کاربرد ۲۵ درصد محتوای آب، مشاهده شد.

درصد نشت الکترولیت‌های برگ: براساس نتایج تجزیه مرکب، نشت الکترولیت برگ به‌صورت معنی‌داری (P≤۰/۰۱) تحت تأثیر تاریخ کاشت، مکان، تاریخ کاشت× مکان، سطوح رطوبتی و تاریخ کاشت× رقم قرار گرفت و تأثیر سایر اثرات بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول۲).

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در مکان: با تغییر تاریخ کاشت از اسفند به مردادماه، درصد نشت الکترولیت‌های برگ را در سربیشه و بیرجند به‌ترتیب ۵۹/۹۱ و ۱۰/۵۳ درصد افزایش داد که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر تاریخ کاشت در سربیشه می‌باشد. بیشترین و کمترین نشت الکترولیت برگ به‌ترتیب در کشت مردادماه سربیشه (۷۵/۴۹ درصد) و کشت اسفندماه سربیشه (۲۶/۳۰ درصد) مشاهده شد (جداول ۳ و ۵). دلیل این امر تجربه دماهای پایین‌تر از صفر در کشت مردادماه سربیشه در زمان گلدهی (اواسط مهرماه) می‌باشد که موجب تأثیرات جبران‌ناپذیر بر غشاء سلول‌ها و به‌دنبال آن افزایش شدید نشت الکترولیت در برگ کینوا در این بازه گردیده است. گزارش‌ها گویای آن است که کاهش دما به دمای یخزدگی در گیاهان منجر به افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود (Kim, Kim, Han, Lee, & Chang, 2002; Dashti, Kafi, Tavakoli, Mirza, & Nezami, 2016; Nezami, Borzooei, Jahani, Azizi, & Sharif, 2007; Mirmiran, Nezami, & Kafi, 2017). حسن‌فرد و همکاران (Hasanfard, Nezami, Kafi, & Nabati, 2018) بیان نمودند که با کاهش دما، درصد نشت الکترولیت‌ها از هر سه اندام گیاهی (برگ، ساقه و بافت مریستم) افزایش داشت و درصد افزایش نشت الکترولیت‌ها و دمای آغازین آن بسته به اندام گیاهی متفاوت بود.

اثر سطوح رطوبتی: نشت الکترولیت با اعمال تنش کم‌آبیاری، افزایش یافت به نحوی که از سطح ۱۲۵درصد به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، نشت الکترولیت برگ به‌ترتیب ۳/۱۸، ۹/۵۹، ۱۵/۹۳ و ۲۴/۵۰ درصد افزایش یافت (جدول ۳). که با نتایج الشامی و همکاران (El-Shamy *et al.*, 2022) و موالیس و همکاران (Morales *et al.*, 2017) در کینوا مطابقت داشت. مرادی و همکاران (Moradi *et al.*, 2023) در بررسی گیاه کینوا بیان نمودند که گیاهانی که در شرایط آبیاری کامل رشد کردند، بیشترین میزان پایداری غشاء (کمترین میزان نشت الکترولیت) را داشتند و با گیاهان رشدیافته در شرایط ۷۵ درصد نیازآبی تفاوت معنی‌داری نداشتند و همچنین تیمار آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه باعث افت ۱۲/۷۹ درصدی پایداری غشاء سلول نسبت به شرایط آبیاری کامل

شد. بنا بر گزارش نادعلی و همکاران (Nadali *et al.*, 2022)، در اثر اعمال محدودیت‌های آبیاری در ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی کینوا، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش یافته که سبب اکسید شدن آنتی‌اکسیدان‌ها، تجزیه رنگیزه‌ها، صدمه دیدن غشاهای سلولی و افزایش نشت‌پذیری الکترولیت‌ها شده است.

اثر تاریخ کاشت در رقم: نتایج نشان داد که رفتار ارقام مختلف کینوا در تاریخ‌های مختلف کاشت متفاوت است به نحوی که بیشترین میزان نشت الکترولیت برگ در مردادماه (۶۲/۰۲ درصد) و کمترین میزان آن در اسفندماه (۳۱/۴۲ درصد)، به رقم تیتیکاکا اختصاص داشت که نشان‌دهنده حساسیت بالاتر این رقم به سرما در زمان گلدهی می‌باشد. بین ارقام ردکارینا و گیزاوان در کشت مردادماه و همچنین کشت اسفندماه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه بر درصد نشت الکترولیت برگ

Table 5- Mean comparison of double interaction effects on leaf electrolyte leakage (%)

تاریخ کاشت × مکان Planting date × Location			تاریخ کاشت × رقم Planting date × Cultivar			
Planting date	Location		Planting date	Cultivar		
	Birjand	Sarbisheh		Giza1	Redcarina	Titicaca
March مردادماه	40.26 b	75.49 a	March مردادماه	54.79 b	56.81 b	62.02 a
July/August اسفندماه	36.02 c	30.26 d	July/August اسفندماه	35.34 c	32.67 cd	31.42 d

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

محتوای یون سدیم برگ: سدیم، کاتیون قابل‌حل در بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثرات تاریخ کاشت، سطوح رطوبتی و همچنین تاریخ کاشت×سطوح رطوبتی، تأثیر معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۱$) بر محتوای سدیم برگ کینوا داشتند و تأثیر سایر اثرات بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح رطوبتی و اثر متقابل تاریخ کاشت در سطوح رطوبتی: سدیم برگ در کشت اسفندماه، با افزایش تنش رطوبتی از سطح ۱۲۵ به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، به‌ترتیب ۱۱/۲۱، ۱۴/۰۲، ۱۲/۱۵ و ۲۴/۳۰ درصد و در کشت مردادماه به‌ترتیب ۱۱/۱۱، ۲۷/۵۱، ۳۷/۵۷ و ۴۵/۵۰ درصد افزایش یافت. بین سطوح رطوبتی، در کشت اسفندماه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). اسیف و همکاران (Asif *et al.*, 2022) بیان نمودند که تاریخ کاشت (۱۵ و ۳۰ نوامبر و ۱۵ دسامبر) بر محتوای سدیم برگ تأثیر معنی‌داری داشت. در بسیاری از گیاهان خشکی‌پسند، سدیم با ورود به داخل واکوئل‌ها، نقش عمده‌ای در تنظیم تعادل اسمزی بر عهده دارد، به‌طوری‌که بیشتر گیاهان خشکی‌زی یا غیرخشکی‌زی مقاوم به خشکی، افزایش موقتی سدیم را در آپوپلاست از طریق افزایش مقدار آب سلول‌های مزوفیل (مثل مقدار آب واکوئل) تحمل می‌کنند، بنابراین نمک‌ها رقیق‌تر شده و ظرفیت خود را برای جذب نمک از محلول آپوپلاست بالاتر می‌برند (Heydari SharifAbad, 2000). افزایش غلظت داخل سلول، باعث تحمل شرایط تنش‌زا شده، و سبب تداوم فشار تورژسانس و ادامه رشد گیاه می‌گردد. در همین رابطه، شعبانی و همکاران (Shaabani, Kamgar Haghighi, Sepaskhah, Emam, & Honar, 2009) بیان نمودند که این افزایش غلظت سدیم در اثر تنش خشکی، نوعی عکس‌العمل گیاه جهت منفی‌تر کردن پتانسیل اسمزی و افزایش فشار آماس برگ برای جلوگیری از افت پتانسیل آب برگ در شرایط تنش، است. در آزمایشی دیگر نیز با اعمال کم‌آبیاری، محتوای سدیم برگ در هر دو سال آزمایش، محتوای سدیم برگ افزایش یافت به نحوی که در شرایط آبیاری منظم و کم‌آبیاری در سال ۲۰۱۰-۲۰۱۹ به‌ترتیب ۳/۱۵ و ۳/۹۰ میلی‌گرم در گرم ماده خشک و در سال ۲۰۲۱-۲۰۲۰ به‌ترتیب ۳/۲۳ و ۳/۹۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک بود (El-Shamy *et al.*, 2022). اقبال و همکاران (Iqbal, Yaning, Waqas, Shareef, & Raza, 2018) بیان نمودند که تنش خشکی به‌صورت معنی‌داری غلظت یون سدیم برگ را در ارقام Pichaman، IESP، 2-Want و Colorado-407D به‌ترتیب ۵۱/۲، ۶۴/۷، ۸۶/۷ و ۱۵۸/۲ درصد افزایش یافت.

محتوای یون پتاسیم برگ: عنصر پتاسیم تقریباً در تمام فرآیندهای متابولیسمی گیاه نقش دارد. پتاسیم که به‌صورت یون و با صرف انرژی از خاک جذب می‌شود، وظایف برقراری پتانسیل اسمزی، فعال کردن آنزیم‌ها (به‌عنوان کوآنزیم)، تثبیت pH، سنتز پروتئین، حرکات روزنه‌ای، انبساط سلولی، فتوسنتز و تعادل آنیونی را در گیاه به عهده دارد. قسمت اعظم پتاسیم موجود در گیاه به‌صورت ترکیبات معدنی در سیتوپلاسم واکوئل مشاهده می‌گردد (Nourihosseini & Zabiha, 2015). براساس نتایج تجزیه مرکب، اثرات تاریخ کاشت، مکان، تاریخ کاشت×مکان، رقم، سطوح رطوبتی و همچنین مکان×رقم، تأثیر معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۱$) بر محتوای پتاسیم برگ کینوا داشتند و تأثیر سایر اثرات بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی بر درصد سدیم برگ

Table 6- Mean comparison of double interaction effects (Moisture levels × Planting Date) on sodium ion leaves (%)

Moisture levels	Planting Date	July/August اسفندماه	March مردادماه
Water requirement نیاز آبی گیاه	125%	0.297 d	0.525 c
	100%	0.331 d	0.583 c
	75%	0.339 d	0.669 b
	50%	0.333 d	0.722 ab
	25%	0.369 d	0.764 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در مکان: بیشترین درصد پتاسیم برگ در کشت مردادماه سربیشه (۱۵/۵۹ درصد) و کمترین آن در کشت مردادماه بیرجند (۴/۸۲ درصد) مشاهده شد. در بیرجند، گیاهان کشت‌شده در اسفندماه، دارای محتوای پتاسیم بالاتری بودند اما در سربیشه، در کشت مردادماه، درصد پتاسیم برگ کینوا افزایش یافت. احتمال می‌رود با توجه به این‌که زمین مورداستفاده در سربیشه، حدود ۸ سال، مورد کشت قرار نگرفته و از نسبت پتاسیم قابل‌جذب بالاتری نسبت به بیرجند برخوردار بود، درنتیجه گیاهان کشت‌شده در این منطقه، دارای درصد پتاسیم برگ بالاتری بودند (جداول۳ و ۷). غلظت یون پتاسیم در داخل گیاه، عاملی برای کنترل عملکرد بوده و در عین حال خود نیز از شرایط فراهمی پتاسیم در خاک تأثیر می‌گیرد و این فراهمی تحت تأثیر میزان یون پتاسیم تبادلی و غلظت آن در محلول خاک و رطوب خاک است (Wang, Zheng, Shen, & Guo, 2013). در مطالعه دیگر، بالاترین محتوای پتاسیم برگ کینوا در منطقه پساری با خاک متوسط و کشت بهاره به میزان ۱۰۵۳۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک و کمترین آن را در منطقه پاولویتس با خاک سبک و کشت تابستانه به میزان ۹۵۵۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک مشاهده شد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (Adamczewska-Sowi´ nska *et al.*, 2021).

اثر ساده رقم و اثر متقابل مکان در رقم: نتایج نشان داد که بالاترین محتوای پتاسیم برگ در رقم گیزاوان (۹/۶۱ درصد) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم ردکارینا (۹/۱۵ درصد) نداشت و کمترین آن نیز متعلق به رقم تیتیکاکا (۸/۱۶ درصد) بود (جدول ۳). بالاترین درصد پتاسیم برگ در سربیشه متعلق به رقم گیزاوان (۱۲/۸۸ درصد) بود که اختلاف معنی‌داری با رقم ردکارینا (۱۲/۲۵ درصد) در همان منطقه نداشت. در هر دو منطقه، رقم گیزاوان بیشترین مقدار پتاسیم و رقم تیتیکاکا کمترین مقدار را جذب نموده بود اما در منطقه بیرجند، بین ارقام اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. درصد پتاسیم برگ ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکاکا که در منطقه سربیشه کشت شدند، به‌ترتیب ۲/۰۳، ۲/۰۲ و ۱/۷۶ برابر بیشتر از گیاهان کشت‌شده در منطقه بیرجند بود (جدول ۷). با توجه به این‌که محتوای پتاسیم قابل‌جذب خاک در سربیشه بیشتر بود، در نتیجه ارقام، مقادیر بالاتری از پتاسیم را جذب نمودند. اقبال و همکاران (Iqbal *et al.*, 2018) در بررسی چهار رقم کینوا (Pichaman، IESP، 2-Want و Colorado-407D) بیان نمودند که رقم 2-Want مقادیر بالاتری از افزایش غلظت پتاسیم در برگ (۷۲/۱۶ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) را نشان داد. عباس و همکاران (Abbas *et al.*, 2023) با بررسی غلظت پتاسیم در ساقه و ریشه چهار رقم کینوا (A7، Titicaca، Viking و Puno) عنوان نمودند که رقم A7 بالاترین و رقم Vikinga کمترین غلظت را دارا بودند. گامز و همکاران (Gámez *et al.*, 2019) نیز غلظت پتاسیم برگ را در دو رقم کینوا (Illpa و Rainbow) مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که غلظت پتاسیم در رقم Illpa به‌صورت معنی‌داری بالاتر بود. پاتان و همکاران (Pathan *et al.*, 2019) میزان غلظت پتاسیم در رقم Ames-13739 کینوا را ۸۷۶۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک گزارش نمودند.

اثر سطوح رطوبتی: با افزایش تنش رطوبتی بر گیاه، درصد پتاسیم برگ به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت. بین سطوح ۱۰۰ و ۷۵ و همچنین سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. با افزایش تنش از سطح ۱۲۵ به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی، درصد پتاسیم برگ به‌ترتیب ۱۳/۰۸، ۱۸/۳۲، ۳۰/۹۰ و ۳۵/۸۹ درصد افزایش یافت (جدول ۳). جـذب زیـاد پتاسیم در شرایط تنش نشان می‌دهـد کـه ایـن عنصـر در تنظیم اسمزی در شرایط تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد تا بتواند از کاهش شدید پتانسیل آماس جلـوگیری نمایـد (Jabbari Orange & Ebadi, 2011). کاهش در مخزن سیتوزولی K^+ ممکن است منجر به تولید آنزیم‌های دخیل در کاتابولیسم پروتئین‌ها و همچنین افزایش مرگ سلولی برنامه‌ریزی‌شده در بافت گیاهی شود (Dua-e-Zainab *et al.*, 2021). در مطالعه دیگر بیان شد که با اعمال تنش خشکی، غلظت پتاسیم برگ از ۱۶ تا ۲۷/۲ درصد افزایش یافت (Iqbal *et al.*, 2018). سایر تحقیقات نیز نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار محتوای پتاسیم برگ بر اثر تنش خشکی می‌باشد (Zaheen *et al.*, 2023; Gámez *et al.*, 2019; Saddiq *et al.*, 2021).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه بر درصد پتاسیم برگ

Table 7- Mean comparison of double interaction effects on potassium ion leaves (%)

مکان × رقم Location × Cultivar				تاریخ کاشت × مکان Planting date × Location		
Location	Cultivar			Planting date	Location	
	Giza1	Redcarina	Titicaca		Birjand	Sarbisheh
Birjand	6.34 c	6.04 c	5.92 c	مردادماه March	4.82 d	15.59 a
Sarbisheh	12.88 a	12.25 a	10.41 b	اسفندماه July/August	7.38 c	8.10 b

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

محتوای کلروفیلa: براساس نتایج تجزیه مرکب، اثرات تاریخ کاشت، تاریخ کاشت×مکان، سطوح رطوبتی (P≤۰/۰۱) و همچنین تاریخ کاشت×رقم (P≤۰/۰۵) تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیلa برگ کینوا داشتند و تأثیر سایر اثرات بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول۲).

اثر ساده تاریخ کاشت و اثرات متقابل تاریخ کاشت در مکان و تاریخ کاشت در رقم: بیشترین محتوای کلروفیلa برگ کینوا، متعلق به کشت مردادماه بیرجند (۱۶/۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. در هر دو منطقه مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری بین تاریخ کاشت مشاهده شد. افزایش محتوای کلروفیلa برگ در مرداد نسبت به اسفند در بیرجند و سربیشه به‌ترتیب ۱۹/۷۵ و ۷/۴۸ درصد بود. در کشت مردادماه، اختلاف معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد و محتوای کلروفیلa بین بازه ۱۶/۲۱ الی ۱۶/۵۷ متغیر بود اما در کشت اسفندماه، بالاترین محتوای کلروفیلa در رقم گیزاوان مشاهده شد و ارقام ردکارینا و تیتیکاکا، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. به‌طور کلی بالاترین محتوای کلروفیلa در رقم ردکارینا کاشته شده در مردادماه و کمترین آن در رقم تیتیکاکا کاشته‌شده در اسفندماه مشاهده شد (جدول ۸). رشید و همکاران (Rashid *et al.*, 2021) با بررسی دو تاریخ کاشت نرمال و با تأخیر (به‌ترتیب ۱۷ نوامبر و ۲۴ دسامبر) بیان نمودند که تأخیر در کاشت اثر نامطلوب بر محتوای کلروفیل برگ کینوا داشت. به گفته ایشان، دسترسی به نور و دمای مطلوب دوعامل قابل اندازه‌گیری مهم می‌باشند که بر روی محتوای کلروفیل برگ تأثیرگذارند. در مطالعه دیگر بیشترین محتوای کلروفیل در منطقه پساری با خاک متوسط و کشت بهاره به میزان ۰/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، مشاهده شد. در منطقه پاولویتس (خاک سبک)، در بین تاریخ‌های کاشت، اختلاف در محتوای کلروفیل برگ مشاهده نشد (Adamczewska-Sowi´ nska *et al.*, 2021).

اثر سطوح رطوبتی: اعمال کم‌آبیاری منجر به افزایش محتوای کلروفیلa برگ کینوا گردید به نحوی که با افزایش کم‌آبیاری و اعمال تنش بر گیاهان از سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی به سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، محتوای کلروفیلa به‌ترتیب ۵/۰۱، ۱۳/۵۳، ۱۷/۱۷ و ۲۴/۸۳ درصد افزایش یافت. بین سطوح ۲۵ و ۵۰ درصد نیازآبی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۳). افزایش کلروفیل در شرایط تنش نشان می‌دهد که در تنش خشکی رنگدانه‌های کلروفیل تا حدی به کاهش آب مقاوم هستند (Schutz & Fangmeier, 2001). همچنین به‌نظر می‌رسد که افزایش میزان کلروفیل در اثر تنش، به‌دلیل افزایش وزن مخصوص برگ است و وقوع تنش میزان سطح برگ را کاهش می‌دهد که ناشی از کاهش اندازه سلول است، بنابراین در طی بروز تنش به‌دلیل وجود سلول‌های بیشتر در واحد وزن برگ، میزان کلروفیل نیز افزایش می‌یابد (Nonami & Boyer, 1990). در مطالعه سلیمانی‌نیا و همکاران (Solimaninya *et al.*, 2021)، افزایش ۳۴ درصدی محتوای کلروفیلa برگ کینوا نسبت به شاهد گزارش گردید. در مطالعه گونزالز و همکاران (Gonzalez *et al.*, 2009)، محتوای کلروفیلa در شرایط شاهد و تنش به‌ترتیب ۲۱/۳ و ۲۰/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اما الشامی و همکاران (El-Shamy *et al.*, 2022) گزارش نمودند که در هر دو سال مورد آزمایش، کم‌آبیاری موجب کاهش محتوای کلروفیلa در برگ کینوا شد. به نحوی که محتوای کلروفیلa در سال ۲۰۲۰-۲۰۱۹ از ۰/۴۸۰ به ۰/۳۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و در سال ۲۰۲۱-۲۰۲۰ از ۰/۴۹۴ به ۰/۳۸۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید. برخی محققان دیگر نیز کاهش در محتوای کلروفیلa در شرایط تنش خشکی را گزارش نمودند (Manaa *et al.*, 2021; Naz *et al.*, 2020; Gholami *et al.*, 2021; Tarek *et al.*, 2017; Elewa *et al.*, 2017).

محتوای کلروفیلb: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات تاریخ کاشت، تاریخ کاشت×مکان، رقم×سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت×رقم (P≤۰/۰۵)، مکان، رقم، سطوح رطوبتی و همچنین تاریخ کاشت×مکان×رقم (P≤۰/۰۱) تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل b برگ کینوا داشتند (جدول ۲).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه بر محتوای کلروفیلa (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)

Table 8- Mean comparison of double interaction effects on chlorophyll a (mg g^{-1} FW)

تاریخ کاشت × مکان Planting date × Location			تاریخ کاشت × رقم Planting date × Cultivar		
Planting date	Location		Planting date	Cultivar		
	Birjand	Sarbisheh		Giza1	Redcarina	Titicaca
March مردادماه	16.78 a	16.01 b	March مردادماه	16.21 ab	16.57 a	16.42 ab
July/August اسفندماه	13.47 d	14.82 c	July/August اسفندماه	15.29 b	14.00 c	13.14 c

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در مکان: نتایج نشان داد که تنها در کشت اسفندماه بیرجند، بالاترین محتوای کلروفیل b نسبت به سایر سطوح، مشاهده شد که احتمالا به‌دلیل افزایش سطح فتوسنتزکننده بوده است زیرا افزایش سطح برگ و کلروپلاست، اثر مثبتی بر محتوای کلروفیل برگ کینوا دارد (Mahmood & AL-Taweel, 2022). در سربیشه، بین تاریخ کاشت در این صفت اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و با تغییر کاشت از اسفند به مرداد، محتوای کلروفیلb حدود ۳/۵۰ درصد کاهش یافت اما در شهرستان بیرجند، این تغییر کاشت، منجر به کاهش معنی‌دار ۲۶/۸۶ درصدی محتوای کلروفیلb شد در همین راستا آدامچوسکا-سووینسکا و همکاران (Adamczewska-Sowi´ nska et al., 2021) نیز گزارش نمودند که محتوای کلروفیل برگ کینوا در گیاهان کشت شده در بهار (۰/۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نسبت به تابستان (۰/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، بیشتر بود.

اثرات ساده رقم، سطوح رطوبتی و اثر متقابل رقم در سطوح رطوبتی: به‌طور کلی رقم گیزاوان از محتوای کلروفیلb بالاتری (۴/۸۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) برخوردار بود و رقم تیتیکاکا کمترین (۳/۱۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) میزان را داشت. تنش کم‌آبیاری موجب افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیلb برگ کینوا شد. در هر سه رقم مورد مطالعه، با کاهش میزان آبیاری، محتوای کلروفیلb به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت اما شیب این افزایش بین ارقام، متفاوت بود. رقم ردکارینا در مواجهه با تنش خشکی، با شیب بالاتری نسبت به سایر ارقام، محتوای کلروفیلb در برگ خود را افزایش داد و کمترین شیب هم متعلق به رقم تیتیکاکا بود. به‌طور کلی، بالاترین محتوای کلروفیلb در رقم گیزاوان و سطح رطوبتی ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (۵/۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد که با سطوح ۵۰ و ۷۵ درصدنیاز آبی در همین رقم (به‌ترتیب ۵/۳۲ و ۵/۱۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و سطوح ۲۵ و ۵۰ درصدنیاز آبی در رقم ردکارینا (به‌ترتیب ۵/۶۴ و ۵/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین محتوا هم از سطوح ۱۲۵ تا ۵۰ درصد نیاز آبی در رقم تیتیکاکا مشاهده شد. پایداری کلروفیل به‌عنوان شاخصی از تنش خشکی شناخته شده است و شاخص پایداری بالا به معنی بی‌تأثیر بودن تنش بر گیاه بوده و موجب دسترسی بهتر گیاه به کلروفیل می‌گردد (Modhan, Narayanan, & Ibrahim, 2000). عباس و همکاران (Abbas *et al.*, 2023) با بررسی چهار رقم کینوا بیان نمودند که ارقام A7 و Puno دارای محتوای کلروفیل بالاتری نسبت به ارقام Titicaca و Vikinga در شرایط تنش خشکی بودند. در مطالعه دیگر، تنش خشکی به‌صورت معنی‌داری محتوای کلروفیلb را در همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کاهش داد. براساس مطالعه ایشان، در زمان تنش خشکی، ژنوتیپ 2-Want بیشترین و ژنوتیپ Pichaman کمترین میزان کلروفیلb را به خود اختصاص دادند (Iqbal *et al.*, 2018). ناز و همکاران (Naz *et al.*, 2020) نیز با بررسی چهار رقم کینوا (V1، V2، V7 و V9) در سطوح تنش آبی (۱۰۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی) بیان نمودند که ارقام V1، V2 و V7 به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تنش کم‌آبی کاهش یافتند اما در رقم V9 هیچ تغییری با اعمال تنش کم‌آبی مشاهده نشد.

اثر متقابل دوگانه تاریخ کاشت در رقم و اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: نتایج نشان داد که در کشت اسفندماه، ارقام ردکارینا و گیزاوان از محتوای کلروفیلb یکسانی برخوردار بودند و در کشت مردادماه، رقم گیزاوان بالاترین محتوا را به خود اختصاص داد. در هر دو تاریخ کاشت، رقم تیتیکاکا کمترین محتوای کلروفیلb را دارا بود. نحوه واکنش ارقام به تاریخ کاشت متفاوت بود. کمترین نوسان در محتوای کلروفیلb در بین تاریخ‌های کاشت، متعلق به رقم گیزاوان (۴/۷۴ و ۴/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌ترتیب در تاریخ کاشت اسفند و مرداد) بود و اما رقم تیتیکاکا بالاترین درصد تغییرات را به خود اختصاص داد به نحوی که محتوای کلروفیلb از تاریخ کاشت اسفند به مرداد، ۳۳/۱۰ درصد کاهش یافت و میزان این کاهش در رقم ردکارینا، ۲۷/۹۷ درصد بود همچنین در منطقه بیرجند، ارقام ردکارینا و تیتیکاکا دارای اختلاف معنی‌دار بین دو تاریخ کاشت بودند اما در منطقه سربیشه، هیچ‌کدام از ارقام، واکنشی به تاریخ کاشت نشان ندادند. در تاریخ کاشت مردادماه، تنها رقم گیزاوان دارای اختلاف معنی‌دار در بین دو منطقه بیرجند و سربیشه

بود ولی در کشت اسفندماه عکس‌العملی کاملا متفاوت مشاهده شد و ارقام دیگر به‌جز رقم گیزاوان، دارای اختلاف معنی‌دار در دو منطقه مورد بررسی بودند. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که در منطقه بیرجند و در تاریخ کاشت مردادماه، بالاترین محتوای کلروفیل b در ارقام مورد بررسی مشاهده شد (جدول ۹). آسیف و همکاران (Asif *et al.*, 2022) با بررسی اثر متقابل لاین‌های کینوا (۱۰ لاین) و تاریخ کاشت (۱۵ و ۳۰ نوامبر و ۱۵ دسامبر) گزارش نمودند که در تاریخ کاشت ۱۵ نوامبر، لاین‌های ۲، ۳، ۶ و ۷ (به‌ترتیب PIA-922، PIA-924، PIA-928 و PIA-929) بالاترین محتوای کلروفیل را داشتند و کمترین آن در لاین ۸ (PIA-930) مشاهده شد. در تاریخ کاشت ۳۰ نوامبر، لاین‌های ۱، ۲، ۴ و ۱۰ (به‌ترتیب PIA-921، PIA-922، PIA-925 و PIA-932) و در تاریخ ۱۵ دسامبر لاین‌های ۵، ۶، ۸ و ۹ (به‌ترتیب PIA-926، PIA-928، PIA-930 و PIA-931) بالاترین محتوای کلروفیل را نسبت به سایر لاین‌ها داشتند.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه‌گانه بر محتوای کلروفیل b

Table 9- Mean comparison of double and triple interaction effects on chlorophyll b (mg g^{-1} FW)

تاریخ کاشت × مکان
Planting date × Location

Planting date	Location: Birjand	Location: Sarbisheh
مردادماه March	3.94 b	3.69 b
اسفندماه July/August	4.97 a	3.82 b

تاریخ کاشت × رقم
Planting date × Cultivar

Planting date	Cultivar: Giza1	Cultivar: Redcarina	Cultivar: Titicaca
مردادماه March	4.96 a	3.77 b	2.72 c
اسفندماه July/August	4.74 a	4.83 a	3.62 b

تاریخ کاشت × مکان × رقم
Planting date × Location × Cultivar

Planting date	Cultivar	Location: Birjand	Location: Sarbisheh
مردادماه March	Giza1	5.73 a	4.19 cd
	Redcarina	3.49 de	4.05 cd
	Titicaca	2.60 e	2.83 e
July/August اسفندماه	Giza1	5.02 abc	4.45 cd
	Redcarina	5.34 ab	4.31 cd
	Titicaca	4.54 bc	2.69 e

رقم × سطوح رطوبتی
Cultivar × Moisture levels

Moisture levels		Cultivar: Giza1	Cultivar: Redcarina	Cultivar: Titicaca
Water requirement نیاز آبی گیاه	125%	3.74 cdef	2.78 defg	3.18 fg
	100%	4.33 bc	3.70 cdef	3.00 efg
	75%	5.19 ab	3.96 cde	2.38 g
	50%	5.32 ab	5.42 ab	3.21 defg
	25%	5.70 a	5.64 a	4.09 cd

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.
Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

محتوای کاروتنوئیدها: براساس نتایج تجزیه مرکب، اثرات تاریخ کاشت، تاریخ کاشت×مکان، سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت×رقم، تاریخ کاشت×مکان×رقم (P≤۰/۰۱)، مکان و تاریخ کاشت×سطوح رطوبتی (P≤۰/۰۵) تأثیر معنی‌داری بر محتوای کاروتنوئید برگ کینوا داشتند و سایر اثرات تأثیر معنی‌دار بر این صفت نداشتند (جدول ۲).

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثرمتقابل تاریخ کاشت در مکان: نتایج نشان داد که در کشت مردادماه، اختلاف معنی‌داری بین مناطق موردمطالعه، در محتوای کاروتنوئیدهای برگ کینوا مشاهده نشد. در بیرجند، با تغییر کشت از اسفند به مرداد، محتوای کاروتنوئیدها ۴۷/۴۹ درصد افزایش یافت اما میزان این افزایش در سربیشه ۹/۸۲ درصد بود. در کشت اسفندماه، با تغییر منطقه کاشت از بیرجند به سربیشه، محتوای کاروتنوئیدها، ۲۸/۹۳ درصد افزایش یافت اما در مردادماه موجب کاهش ۴/۰۱ درصدی صفت مذکور گردید (جدول۱۰). افزایش تدریجی دما و کاهش رطوبت منجر به تخریب رنگدانه‌های برگ و همچنین آنزیم روبیسکو می‌شود (Bhargava, Shukla, & Ohri, 2007).

اثر ساده سطوح رطوبتی و اثر متقابل تاریخ کاشت در سطوح رطوبتی: تنش کم‌آبیاری منجر به افزایش کاروتنوئیدهای برگ کینوا در هر دو تاریخ کاشت شد در کشت مرداد، بین سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد و همچنین ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیازآبی، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد اما در کشت اسفندماه، بین سطوح ۱۰۰ تا ۲۵ درصد نیاز آبی، این اختلاف مشهود نبود. به بیان دیگر، با تغییر سطوح رطوبتی از سطح ۱۲۵ به سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، محتوای کاروتنوئیدها در کشت اسفندماه به‌ترتیب ۱/۱۳، ۱/۱۷، ۱/۲۳ و ۱/۳۴ برابر و در کشت مردادماه به‌ترتیب ۱/۱۰، ۱/۳۲، ۱/۵۴ و ۱/۶۲ برابر گردید (جدول ۱۰). کاروتنوئیدها ترکیبات تتراترپنی هستند که در تنش‌های شدید به‌عنوان حمایت‌کننده‌ای برای سایر رنگیزه‌ها عمل کرده و مانع از تخریب کلروفیل‌ها می‌شود. با افزایش تنش خشکی مقدار کاروتنوئیدها به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی باعث خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌شود (Mortazaeinezhad, & JaziZadeh, 2017). سلیمانی‌نیا و همکاران (Solimaninya *et al.*, 2021) گزارش نمودند

که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر محتوای کاروتنوئیدهای برگ کینوا داشت به نحوی‌که بیشترین میزان کاروتنوئید (۳/۱۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، مربوط به بالاترین سطح خشکی (۹- بار) بود که افزایش دو برابری نسبت به شاهد را نشان داد. زنگنه و همکاران (Zanganeh *et al.*, 2022) نیز با بررسی سه سطح تنش خشکی (شاهد، ملایم و شدید) بیان نمودند که محتوای کاروتنوئیدهای برگ کینوا با افزایش تنش خشکی، افزایش یافت. معمولاً در شرایط تنش‌زا، میزان کاروتنوئیدها که رنگدانه‌های فرعی هستند، افزایش می‌یابند که به محافظت از کلروفیل در برابر آسیب‌های نوری کمک می‌کنند و انرژی خود را به کلروفیلb منتقل می‌کنند. در شرایط تنش محیطی معمولاً سطح برگ‌ها کم و به‌دلیل این‌که در معرض تابش نور خورشید هستند، ضخیم‌تر بوده و نسبت به تیمار شاهد دارای ویژگی‌های بیوشیمیایی و مرفولوژیکی متفاوتی خواهند شد (Taiz, Zeiger, Moller, & Murphy, 2015).

اثر متقابل دوگانه تاریخ کاشت در رقم و اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: رفتار ارقام در واکنش به تاریخ کاشت متفاوت بود به نحوی که تغییر تاریخ کاشت از اسفند به مرداد، موجب افزایش ۱۰/۶۱، ۲۰/۸۶ و ۵۰/۴۷ درصدی در محتوای کاروتنوئیدهای برگ ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکاکا گردید. رقم تیتیکاکا بالاترین محتوای کاروتنوئیدها در مردادماه (۰/۶۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین آن در کشت اسفندماه (۰/۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را به خود اختصاص داد. در بیرجند، بین تاریخ کاشت در ارقام مورد مطالعه، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و محتوای کاروتنوئیدها در کشت مرداد و در ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکاکا به‌ترتیب ۱/۴۹، ۱/۴۸ و ۱/۴۷ برابر نسبت به کشت اسفند بود. اما در سربیشه، تنها در رقم تیتیکاکا، تفاوت معنی‌دار با تغییر تاریخ کاشت مشاهده شد و در کشت مرداد افزایش ۱/۵۱ برابری نسبت به کشت اسفندماه داشت. همچنین در مرداد، اثر منطقه بر محتوای کاروتنوئیدها معنی‌دار نبود اما در اسفندماه در ارقام گیزاوان و ردکارینا، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. بالاترین محتوای کاروتنوئیدها متعلق به رقم تیتیکاکا در کشت مردادماه سربیشه (۰/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کمترین آن متعلق به رقم گیزاوان در کشت اسفندماه بیرجند (۰/۳۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه‌گانه بر محتوای کاروتنوئیدها

Table 10- Mean comparison of double and triple interaction effects on carotenoids (mg g^{-1}FW)

تاریخ کاشت × مکان — Planting date × Location

Planting date	Location: Birjand	Location: Sarbisheh
مردادماه March	0.598 a	0.573 ab
اسفندماه July/August	0.405 c	0.523 b

تاریخ کاشت × رقم — Planting date × Cultivar

Planting date	Cultivar: Giza1	Redcarina	Titicaca
مردادماه March	0.548 bc	0.569 b	0.641 a
اسفندماه July/August	0.495 cd	0.471 de	0.426 e

تاریخ کاشت × مکان × رقم — Planting date × Location × Cultivar

Planting date	Cultivar	Location: Birjand	Location: Sarbisheh
مردادماه March	Giza1	0.58 abc	0.52 cd
	Redcarina	0.59 abc	0.55 bc
	Titicaca	0.63 ab	0.65 a
اسفندماه July/August	Giza1	0.39 e	0.60 abc
	Redcarina	0.40 e	0.54 bc

تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی — Planting date × Moisture levels

Moisture levels \ Planting date		Planting date: مردادماه March	Planting date: اسفندماه July/August
Water requirement نیاز آبی گیاه	125%	0.445 cd	0.396 d
	100%	0.488 c	0.446 cd
	75%	0.588 b	0.462 cd
	50%	0.687 a	0.487 c
	25%	0.722 a	0.529 bc

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

محتوای پرولین برگ: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات تاریخ کاشت، مکان، تاریخ کاشت×مکان، سطوح رطوبتی، مکان×سطوح رطوبتی (P≤۰/۰۱)، رقم، تاریخ کاشت×سطوح رطوبتی و همچنین تاریخ کاشت×مکان×رقم (P≤۰/۰۵) تأثیر معنی‌داری بر محتوای پرولین برگ کینوا داشتند (جدول ۲).

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در مکان: بیشترین محتوای پرولین برگ در مردادماه بیرجند (۴۲/۷۲ میلی‌مول بر گرم وزن تر) و کمترین آن در مردادماه سربیشه (۱۰/۱۲ میلی‌مول بر گرم وزن تر) مشاهده شد. عکس‌العمل کینوا در برابر تاریخ کاشت در دو منطقه متفاوت بود به نحوی که در بیرجند، کشت مردادماه موجب افزایش ۲/۷۶ برابری محتوای پرولین نسبت به کشت اسفندماه گردید اما در سربیشه به‌صورت کاملا متفاوت عمل نموده و تغییر تاریخ کاشت از مرداد به اسفند موجب کاهش ۱/۸۲ برابری در صفت مذکور شد (جدول ۱۱). گیاهان کشت‌شده در مردادماه بیرجند،

درجه حرارت بالاتری را نسبت به سه آزمایش دیگر در تاریخ کاشت رشد رویشی، تجربه نمودند و همچنین تاریخ کاشت رشد زایشی گیاه (زمان نمونه‌برداری)، گیاهان با درجه حرارت پایین (سرما) مواجه شدند در نتیجه احتمال دارد که برآیند این دو اثر، موجب افزایش محتوای پرولین در برگ گردیده است. اما در سربیشه میزان سرمای تجربه شده در رشد زایشی، بیشتر از بیرجند بوده و براساس گزارش غلامنیا و همکاران (Gholamnia, Mosleh Arany, Sodaeizadeh, Tarkesh Esfahani, & Ghasemi, 2021) که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، با گذشت زمان تا ۴۸ ساعت، مقدار پرولین افزایش و سپس در ۷۲ ساعت کاهش معنی‌داری نشان داد؛ می‌توان بیان نمود که در زمان نمونه‌برداری، به‌دلیل رفع دوره‌ی سرما، محتوای پرولین برگ کاهش معنی‌داری یافته است. بنا بر گزارش وایز و نتو (Wyse & Netto, 2011)، شکل‌گیری فرآیندهای مقاومت در گیاه تحت تأثیر تغییرات سطح پرولین پایدار نیست، زیرا پرولین یک اسیدآمینه ناپایدار است که سریع تجزیه شده و به منبع ازت تبدیل می‌شود. در مطالعه دیگر بیان شد که اندوخته پرولین در سلول‌های گیاهان عالی می‌تواند در نقش یک محافظ اسمزی سلول و نیز محافظ در برابر سرما عمل نماید (Lone, Kueh, Wyn Jones, & Bright, 1987). همچنین پرولین در محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی کلروپلاست در برابر رادیکال‌های آزاد ناشی از آسیب‌های نوری نیز نقش دارد (Ashraf & Foolad, 2007).

اثر ساده رقم و اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: رقم گیزاوان دارای بالاترین محتوای پرولین (۲۳/۱۹ میلی‌مول بر گرم وزن تر) نسبت به دو رقم دیگر بود به نحوی که محتوای پرولین برگ در ارقام ردکارینا و تیتیکاکا به‌ترتیب ۵/۶۶ و ۱۳/۹۰ درصد نسبت به رقم گیزاوان کمتر بود. بین رقم گیزاوان و ردکارینا در صفت مذکور اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در بررسی اثر متقابل سه‌گانه می‌توان بیان نمود که در هر دو منطقه مورد مطالعه، در کشت مردادماه، اختلاف معنی‌داری در بین ارقام مشاهده نشد. اما در کشت اسفندماه تنها در منطقه سربیشه و بین ارقام گیزاوان و تیتیکاکا این اختلاف مشهود بود. همچنین در کشت مردادماه با تغییر منطقه کاشت، در تمام ارقام مورد مطالعه، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد اما در اسفندماه تنها این اختلاف معنی‌دار در رقم گیزاوان مشاهده شد و در دو رقم دیگر، با تغییر مکان کاشت، تغییری در محتوای پرولین در برگ آن‌ها ایجاد نشد. بالاترین محتوای پرولین در کشت مردادماه بیرجند و در رقم گیزاوان (۴۴/۸۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با ارقام ردکارینا و تیتیکاکا در همان تاریخ و مکان کاشت (به‌ترتیب ۴۲/۵۵ و ۴۰/۸۰ میلی‌مول بر گرم وزن تر) نداشت و کمترین نیز متعلق به رقم گیزاوان در کشت مردادماه سربیشه (۹/۴۴ میلی‌مول بر گرم وزن تر) بود که باز هم اختلاف معنی‌دار با ارقام ردکارینا و تیتیکاکا در همان تاریخ و مکان کاشت (به‌ترتیب ۱۰/۷۹ و ۱۰/۱۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر) نداشت (جدول ۱۱). داسیلوا و همکاران (da Silva *et al.*, 2021) گزارش نمودند که محتوای پرولین برگ کینوا در ارقام CPAC4، CPAC11، BRS-Piabiru و CPAC19 به‌ترتیب ۰/۰۷۳، ۰/۰۷۸، ۰/۰۸۳ و ۰/۰۹۵ میکروگرم بر گرم وزن تر بود. در مطالعه گرانادو-رودریگز و همکاران (Granado-Rodríguez *et al.*, 2021) محتوای پرولین شش رقم کینوا در سه سال مورد بررسی قرار گرفت. ایشان بیان نمودند که محتوای پرولین در ارقام Titicaca، vikinga، Regalona، Puno، Q3 و Q5 در سال ۲۰۱۷ به‌ترتیب ۷/۲۹، ۷/۱۲، ۷/۱۷، ۶/۲۳، ۴/۰۱ و ۳/۱۹ میلی‌گرم بر گرم دانه، در سال ۲۰۱۸ به‌ترتیب ۷/۶۸، ۶/۹۲، ۸/۲۸، ۶/۲۹، ۶/۲۲ و ۷/۱۷ میلی‌گرم بر گرم دانه و در سال ۲۰۱۹ به‌ترتیب ۳/۱۷، ۳/۱۳، ۲/۵۳، ۳/۱۱، ۳/۰۸ و ۳/۴۵ میلی‌گرم بر گرم دانه بود. نادعلی و همکاران (Nadali *et al.*, 2022) با بررسی سه رقم کینوا (Titicaca، Q26 و Q29) بیان نمودند که محتوای پرولین برگ، تحت تأثیر معنی‌دار رقم قرار گرفت.

اثر ساده سطوح رطوبتی، اثرات متقابل تاریخ کاشت در سطوح رطوبتی و مکان در سطوح رطوبتی: نتایج نشان داد که تنش رطوبتی منجر به افزایش معنی‌دار محتوای پرولین برگ کینوا گردید و بالاترین محتوا در سطح ۲۵ درصد نیازآبی گیاه (۲۶/۲۳ میلی‌مول بر گرم وزن تر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطح ۵۰ درصد نیاز آبی (۲۵/۳۸ میلی‌مول بر گرم وزن تر) نداشت (جدول ۳). پرولین باعث حفظ تعادل آب، حفظ ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌شود و به‌عنوان یک محافظ اسمزی عمل می‌کند. اهمیت تجمع پرولین در حفظ وضعیت آبی گیاه بیشتر از اهمیت سایر مواد آلی است و پرولین به‌عنوان رایج‌ترین اسمولیت انباشته‌شده در شرایط تنش عمل می‌کند (Barandeh & Ksvousi, 2017). همچنین به بیان دیگر، تجمع اسمولایت‌های سازگار، موجب تنظیم اسمزی در گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Jagesh *et al.*, 2010). پرولین نقش حیاتی در تنظیم اسمزی (Hasegawa, Bressan, Zhu, & Bohnert, 2000)، تثبیت و محافظت از آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و غشاءها (Ashraf & Foolad, 2007) در برابر اثرات مخرب تنش‌های خشکی-اسمزی و همپنین کاهش اکسیداسیون غشاهای لیپیدی (دمیرال و تورکان، ۲۰۰۴) دارد. به‌طور کلی در سطوح ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی کینوا، محتوای پرولین برگ در بیرجند به‌ترتیب ۱/۹۵، ۱/۷۷، ۲/۱۰، ۱/۹۴ و ۲/۴۲ برابر نسبت به سربیشه بود. در سربیشه تنها بین سطوح ۱۲۵ و ۵۰ درصد نیازآبی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و سایر سطوح با یکدیگر اختلاف نداشتند اما در بیرجند سطح ۱۲۵ درصد تنها با سطح ۱۰۰ درصد نیازآبی اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۱۱). بیشترین محتوای پرولین در سطح ۲۵ درصد نیازآبی در مرداد (۳۳/۴۳ میلی‌مول بر گرم وزن تر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطح ۵۰ درصد در همان تاریخ کاشت

(۳۱/۹۵ میلی‌مول بر گرم وزن تر) نداشت. در اسفندماه، افزایش تنش رطوبتی از سطح ۱۲۵ به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی به‌ترتیب ۷/۸۳، ۹/۵۲، ۲۷/۵۷ و ۲۹/۰۹ درصد افزایش یافت اما این افزایش معنی‌دار نبود و در مردادماه با افزایش سطح رطوبتی به‌ترتیب ۱۰/۹۵، ۲۴/۹۲، ۶۰/۸۳ و ۶۸/۲۷ درصد و به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۱۱). نتایج این پژوهش با نتایج الشامی و همکاران (El-Shamy *et al.*, 2022)، ناز و همکاران (Naz *et al.*, 2020) و ساداک و همکاران (Sadak *et al.*, 2019) مطابقت داشت. همچنین غلامی و همکاران (Gholami *et al.*, 2021) بیان نمودند که میزان پرولین برگ در تیمارهای خشکی صفر، ۰/۴- و ۰/۸- به‌ترتیب ۰/۹۴، ۱/۰۴ و ۱/۹۲ میکرومول بر گرم وزن تر بود و در واقع تنش خشکی منجر به افزایش محتوای پرولین برگ کینوا گردید. گونزالز و همکاران (Gonzalez *et al.*, 2009) گزارش نمودند که با اعمال تنش خشکی، محتوای پرولین برگ کینوا از ۰/۳۷ به ۰/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر رسید.

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه‌گانه بر محتوای پرولین برگ

Table 11- Mean comparison of double and triple interaction effects on leaf proline content (mmol g^{-1}FW)

تاریخ کاشت × مکان × رقم / Planting Date × Location × Cultivar

Location	Planting Date	Giza1	Redcarina	Titicaca
Birjand	March مردادماه	44.81 a	42.55 a	40.80 a
	July/August اسفندماه	15.58 cd	15.83 c	14.98 cd
Sarbisheh	March مردادماه	9.44 e	10.79 de	10.11 e
	July/August اسفندماه	22.89 b	18.31 bc	13.94 cde

تاریخ کاشت × مکان / Planting Date × Location

Location \ Planting Date	July/August اسفندماه	March مردادماه
Birjand	15.47 c	42.72 a
Sarbisheh	18.38 b	10.12 d

تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی / Moisture levels × Planting Date

Moisture levels \ Planting Date		July/August اسفندماه	March مردادماه
Water requirement نیاز آبی گیاه	125%	14.74 e	19.87 cd
	100%	15.90 de	22.04 bc
	75%	16.15 de	24.82 b
	50%	18.81 cde	31.95 a
	25%	19.03 cde	33.43 a

مکان × سطوح رطوبتی / Moisture levels × Location

Moisture levels \ Location		Birjand	Sarbisheh
Water requirement نیاز آبی گیاه	125%	22.87 c	11.74 e
	100%	24.24 bc	13.70 de
	75%	27.76 b	13.20 de
	50%	33.48 a	17.28 d
	25%	37.13 a	15.33 de

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات تاریخ کاشت، مکان، تاریخ کاشت×مکان، سطوح رطوبتی، مکان×سطوح رطوبتی (P≤۰/۰۱)، رقم و همچنین تاریخ کاشت×مکان×رقم (P≤۰/۰۵) تأثیر معنی‌داری بر محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ کینوا داشتند (جدول ۲).

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در مکان: نتایج نشان داد که تغییرات محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ در دو منطقه مورد بررسی در تاریخ‌های کاشت مختلف، متفاوت است و در واقع کینوا با توجه به منطقه و تاریخ کاشت، عکس‌العمل متفاوتی را نشان داد به نحوی که در بیرجند، با تغییر تاریخ کاشت از اسفند به مرداد، محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ، ۲/۷۱ برابر بیشتر شد ولی در سربیشه با تغییر همان تاریخ‌های کاشت، کاهش ۲ برابری در صفت مذکور مشاهده گردید. بیشترین محتوای کربوهیدرات محلول متعلق به کشت مردادماه بیرجند (۴۷/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود که با سایر سطوح اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین آن در کشت مردادماه سربیشه (۱۵/۰۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با کاشت اسفندماه بیرجند (۱۷/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) نداشت (جدول ۱۲). این امر احتمالاً مشابه با تغییرات محتوای پرولین برگ، می‌تواند به‌دلیل قرارگیری بازه گلدهی در درجه حرارت‌های پایین و به‌دنبال آن کاهش ناگهانی درجه حرارت محیط، بدون سازگاری در گیاه باشد. کربوهیدرات‌ها در گیاه به‌راحتی منتقل می‌شوند و به‌عنوان منبع انرژی قابل‌دسترس، می‌توانند نقطه انجماد را پایین بیاورند و همچنین محتوای کربوهیدرات درگیاهان سازگارنشده طی تنش سرما، افزایش می‌یابد (Guinchard, Robin, Grieu, & Guckert, 1997).

اثر ساده رقم و اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در

رقم: بیشترین محتوای کربوهیدارت محلول کل برگ در رقم گیزاوان (۲۹/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد که با رقم ردکارینا (۲۷/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول۳) که این امر نشان‌دهنده، مقاومت بیشتر این دو رقم نسبت به رقم تیتیکاکا در مواجهه با شرایط نامساعد محیطی می‌باشد. یعقوب و همکاران (Yaqoob *et al.*, 2019) با بررسی دو رقم کینوا بیان نمودند که محتوای کل قندهای محلول برگ کینوا تحت تأثیر رقم قرار گرفت. در مطالعه دیگر با بررسی چهار رقم کینوا بیان شد که رقم V7 دارای بالاترین میزان قند کل در برگ بود (Naz *et al.*, 2020).

در بررسی اثر متقابل سه‌گانه می‌توان بیان نمود که در کشت مردادماه، بین دو منطقه مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد. اما در کشت اسفندماه، صرفا در سربیشه، اختلاف مابین رقم گیزاوان با سایر ارقام معنی‌دار بود. در بیرجند و سربیشه نیز اختلاف بین تاریخ‌های کاشت در هر سه رقم مورد بررسی، معنی‌دار بود و به‌طور کلی در بیرجند و با تغییر تاریخ کاشت از اسفند به مرداد، محتوای کربوهیدارت محلول کل برگ در ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکاکا به‌ترتیب ۲/۵۸، ۲/۵۶ و ۲/۷۳ برابر افزایش و در سربیشه به‌ترتیب ۲/۳۲، ۲/۰۴ و ۱/۸۴ برابر کاهش یافت. همچنین در تاریخ‌های کاشت مرداد و اسفند نیز با تغییر در مکان کاشت، اختلاف معنی‌دار بین ارقام مشاهده شد. بالاترین محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ متعلق به کشت رقم گیزاوان در مردادماه بیرجند (۱۹/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود که اختلاف معنی‌داری با ارقام ردکارینا و تیتیکاکا در همان تاریخ و مکان کاشت (به‌ترتیب ۴۷/۰۵ و ۴۵/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، نداشت و کمترین آن نیز متعلق به رقم ردکارینا و تیتیکاکا در کشت اسفندماه سربیشه (به‌ترتیب ۲۹/۱۲ و ۲۹/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود (جدول ۱۲).

اثر ساده سطوح رطوبتی و اثر متقابل مکان در سطوح رطوبتی: با افزایش تنش رطوبتی از سطح ۱۲۵ به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی، محتوای کربوهیدارت برگ در بیرجند به‌ترتیب ۷/۱۹، ۱۱/۸۷، ۳۰/۶۹ و ۴۸/۴۴ درصد و در سربیشه به‌ترتیب ۱۱/۸۲، ۱۴/۶۷، ۹/۴۷ و ۲۱/۰۱ درصد افزایش یافت. در سربیشه، تنها بین سطوح ۱۲۵ و ۲۵ درصد نیازآبی، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و در بیرجند بین سطوح ۱۲۵ تا ۷۵ درصد نیازآبی نیز اختلاف معنی‌دار در صفت مذکور مشاهده نشد (جدول ۱۲). در طی بروز تنش خشکی حفظ و نگهداری پتانسیل اسمزی فشار جهت فعال نگه داشتن فتوسنتز و ادامه رشد، از طریق افزایش غلظت املاح محلول سلول به‌وجود می‌آید که کربوهیدرات‌ها یکی از مهم‌ترین املاح می‌باشند (Amini, Noruzi, Faraji, & Nasiri, 2019). مواد محلول سازگار، مواد با وزن مولکولی پایین می‌باشند و ترکیبات با حلالیت بالا هستند که غالبا حتی در غلظت‌های بالا در سیتوسول، غیر سمی هستند. به‌طور کلی، ترکیبات آلی یادشده گیاهان را از طریق روش‌های مختلف نظیر شرکت در تنظیم اسمزی، غیرسمی کردن گونه‌های اکسیژن فعال، پایداری غشاء و ساختار طبیعی آنزیم‌ها و پروتئین‌ها در برابر تنش خشکی حفظ می‌کنند (Zhu, 2002). تنظیم اسمزی شامل انباشت (تجمع) تعدادی از مولکول‌ها یا یون‌های فعال اسمزی شامل قندهای محلول، الکل‌های قندی، پرولین، گلایسین بتائین، اسیدهای آلی، کلسیم، پتاسیم و یون‌های کلرید هستند. تحت شرایط تنش خشکی و در نتیجه تجمع املاح، پتانسیل اسمزی سلول کاهش می‌یابد، که آب را به داخل سلول جذب کرده و به حفظ آماس (تورگر) کمک می‌کند. به‌وسیله تنظیم اسمزی، اندامک‌ها و فعالیت‌های سیتوپلاسمی در یک حد نرمال اتفاق می‌افتد و به گیاهان در زمینه انجام بهتر رشد، فتوسنتز و تسهیم آسیمیلات‌ها به دانه درحال پرشدن کمک می‌کند (Subbarao, Nam, Chauhan, & Johansen, 2000). بنا بر گزارش گونزالز و همکاران (Gonzalez *et al.*, 2009) محتوای قند کل در برگ کینوا با اعمال تنش خشکی از ۴/۶ به ۵/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر تغییر یافت. در مطالعه دیگر بیان شد که میزان کل قندهای محلول در برگ کینوا در اثر تنش خشکی ۲۲/۰۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (Elewa *et al.*, 2017). بنا بر گزارش حسینی و همکاران (Hosseini, Hasanloo, & Mohammadi, 2014)، افزایش قندهای محلول ممکن است به حفظ تورژسانس و تثبیت غشاء سلولی کمک نماید و همچنین قندهای محلول می‌توانند به‌عنوان جذب‌کننده ROSها عمل نموده و منجر به پایداری غشاء گردند.

عملکرد بیولوژیک: براساس نتایج تجزیه مرکب داده‌ها اثرات مکان، تاریخ کاشت× مکان، رقم، سطوح رطوبتی، مکان× سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت× رقم، تاریخ کاشت× مکان× سطوح رطوبتی ($P\leq0/01$) و همچنین اثرات رقم× سطوح رطوبتی و تاریخ کاشت× مکان× رقم ($P\leq0/05$) تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشتند (جدول ارائه نشده است).

اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: براساس نتایج تجزیه واریانس، بیشترین عملکرد بیولوژیک در رقم ردکارینا کشت‌شده در اسفندماه سربیشه به میزان ۱۱۱۶۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در رقم تیتیکاکا کشت‌شده در اسفندماه بیرجند به میزان ۵۶۵۰/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. تغییر تاریخ کاشت تنها در رقم گیزاوان کشت‌شده در منطقه سربیشه، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک نداشت اما در همین منطقه، تغییر تاریخ کاشت از مرداد به اسفند موجب افزایش ۱/۵۵ و ۱/۴۷برابری عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب در ارقام ردکارینا و تیتیکاکا گردید. در منطقه بیرجند نیز همین تغییر تاریخ کاشت منجر به کاهش ۱/۶۳، ۱/۲۳ و ۱/۳۰ برابری عملکرد به‌ترتیب در ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکاکا گردید (جدول ۱۳). تاریخ کاشت مناسب کینوا به شرایط اقلیمی و رقم مورد استفاده

بستگی دارد؛ ارقام زودرس مناسب کاشت در شهریور و یا در کشت بهاره در مناطق معتدل خشک کشور می‌باشند؛ این ارقام در مناطق معتدله درصورتی‌که در مرحله ۱۲ برگی باشند، در طی زمستان زنده مانده، ولی تولید دانه نمی‌کنند. کشت در شهریورماه برای فلات مرکزی ایران که بارندگی کمی در طول پاییز دارد مناسب است، زیرا بذور گیاه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به جوانه‌زنی روی پانیکول حساس هستند و بارندگی پاییزه موجب وقوع این پدیده می‌شود. کشت شهریور ماه باید طوری تنظیم شود که در مرحله گرده‌افشانی میانگین دمای هوا حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد باشد. دماهای بیشتر و یا کمتر ۲۰ درجه‌سانتی‌گراد موجب کاهش شدید عملکرد می‌شود (Salehi & Dehghani, 2018).

اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در سطوح رطوبتی:

بیشترین عملکرد بیولوژیک در کشت اسفندماه سربیشه و سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی به میزان ۱۳۶۰۹/۷۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در کشت مردادماه سربیشه در سطح ۲۵ درصد نیاز آبی به میزان ۳۴۸۳/۱۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. به‌طور کلی در تمام سطوح رطوبتی، در بیرجند کشت مردادماه و در سربیشه کشت اسفندماه بیشترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند. بین تاریخ کاشت در تمام سطح رطوبتی هر دو منطقه (به‌جز سطح ۲۵ درصد نیاز آبی در بیرجند) اختلاف معنی‌دار وجود داشت. اعمال تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی) موجب کاهش ۵۲/۳۶، ۶۶/۳۷، ۳۹/۹۴ و ۶۷/۱۹ درصدی عملکرد بیولوژیک در مردادماه بیرجند و سربیشه و اسفندماه بیرجند و سربیشه نسبت به شاهد بدون تنش (سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی) گردید که درصدها نشان‌دهنده کاهش بیشتر عملکرد بیولوژیک در هر دو تاریخ کاشت در اثر تنش خشکی در منطقه سربیشه می‌باشد (جدول ۱۳).

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه‌گانه بر محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ

Table 12- Mean comparison of double and triple interaction effects total leaf soluble carbohydrate content (mg g^{-1} FW)

تاریخ کاشت × مکان × رقم / Planting Date × Location × Cultivar

Location	Cultivar	Planting Date: March مردادماه	Planting Date: July/August اسفندماه
Birjand	Giza1	49.91 a	17.50 d
	Redcarina	47.05 a	18.41 d
	Titicaca	45.44 a	16.64 d
Sarbisheh	Giza1	15.15 d	35.09 b
	Redcarina	14.25 d	29.12 c
	Titicaca	15.86 d	29.19 c

تاریخ کاشت × مکان / Planting Date × Location

Location \ Planting Date	March مردادماه	July/August اسفندماه
Birjand	47.47 a	17.52 c
Sarbisheh	15.09 c	30.14 b

مکان × سطوح رطوبتی / Moisture levels × Location

Moisture levels \ Location		Sarbisheh	Birjand
Water requirement نیاز آبی گیاه	125%	20.30 f	27.16 cd
	100%	22.70 ef	29.11 c
	75%	23.28 def	30.38 c
	50%	22.22 ef	35.50 b
	25%	24.56 de	40.31 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه‌گانه بر عملکرد بیولوژیک

Table 13- Mean comparison of triple interaction effects on biological yield (kg ha^{-1})

تاریخ کاشت × مکان × رقم / Planting date × Location × Cultivar

Location	Planting date	Cultivar: Giza1	Cultivar: Redcarina	Cultivar: Titicaca
Birjand	March مردادماه	10102.0 b	9125.1cd	7321.1 e
	August اسفندماه	6216.2 fg	7415.2e	5650.4 g
Sarbisheh	March مردادماه	8786.4 cd	7184.0e	6387.7 fg
	July اسفندماه	8591.4 d	11169.0a	9385.2 bc

تاریخ کاشت × مکان × سطوح رطوبتی / Planting date × Location × Moisture levels

Location	Planting date	Moisture levels: 125%	100%	75%	50%	25%
Birjand	March مردادماه	11403.1 bc	10385.5 d	9785.9de	7229.3gh	5432.9jk
	August اسفندماه	7970.9fg	7047.4gh	6682.0hi	5649.4jk	4787.5kl
Sarbisheh	March مردادماه	10356.7d	9290.9e	8296.7f	5834.4ij	3483.1m
	July اسفندماه	13609.8a	12075.1b	10511.9cd	7914.8fg	4465.1l

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

ضریب همبستگی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی با عملکرد بیولوژیک در هر چهار آزمایش نشان داد که محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار و نشت الکترولیت‌های برگ، محتوای سدیم، پتاسیم، کلروفیلa، کاروتنوئیدها، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول کل برگ در اکثر تاریخ‌ها و مکان‌های کاشت، همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد بیولوژیک داشتند (جدول ۱۴). نتایج بیانگر این موضوع می‌باشد که قرارگیری گیاه کینوا در شرایط بهینه رشد، منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و کاهش میزان تولید صفات بیوشیمیایی می‌گردد اما با قرارگیری گیاه در شرایط نامطلوب از قبیل تنش‌های محیطی، عملکرد گیاه کاهش و محتوای صفات بیوشیمیایی در آن افزایش می‌یابد. طهماسب‌پور و همکاران (Tahmasebpour, Jahanbakhsh, Tarinejad, Mohammadi, & Ebadi, 2023) نیز به همبستگی منفی محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها با عملکرد و اجزای عملکرد گندم اشاره نمودند. ساعدی و همکاران (Saedi, Sirousmehr, & Javadi, 2020) نیز همبستگی منفی غیرمعنی‌دار پرولین، کلروفیلb و کربوهیدرات‌ها با وزن خشک بوته را در نعناع فلفلی بیان نمودند.

جدول ۱٤- همبستگی بین عملکرد بیولوژیک و صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی برگ کینوا در دو تاریخ کاشت و منطقه

Table 14- Correlation between quinoa biological yield and quinoa leaf physiological and biochemical traits in two planting dates and location

Location	Planting date	محتوای نسبی آب RWC	نشت الکترولیت‌ها EL	سدیم Na	پتاسیم K	کلروفیلa Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئیدها Carotenoids	پرولین Proline	کربوهیدرات محلول Total carbohydrate
Birjand بیرجند	March اسفند	0.431**	−0.512 **	−0.421 **	−0.355 *	−0.350 *	−0.216 ^{ns}	−0.524 **	−0.441 **	−0.609 **
	July/August مرداد	0.582**	−0.507 **	−0.458 **	−0.475 **	−0.464 **	0.002 ^{ns}	−0.476 **	−0.517 **	−0.408 **
Sarbisheh سربیشه	March اسفند	0.216 ^{ns}	−0.332 *	−0.176 ^{ns}	−0.597 **	0.514**	−0.292 ^{ns}	−0.185 ^{ns}	−0.238 ^{ns}	−0.196 ^{ns}
	July/August مرداد	0.717**	−0.452 **	−0.311 *	−0.344 *	−0.552 **	−0.514 **	−0.602 **	−0.574 **	−0.383 **

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ns represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با معنی‌دارشدن اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم، واکنش هر رقم به تاریخ و مکان کاشت آن بستگی دارد. در کشت مردادماه و در منطقه بیرجند به دلیل بالاتر بودن میانگین درجه حرارت و سایر پارامترهای اقلیمی و احتمالا درک تنش حرارتی، صفاتی از قبیل رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین و کربوهیدرات، از مقادیر بالاتری برخوردار بودند. رقم گیزاوان نسبت به دو رقم دیگر، دارای مقادیر بالاتری از صفات بیوشیمیایی بود که این امر منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک در رقم مذکور گردید. تنش رطوبتی نیز موجب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ و افزایش معنی‌دار سایر صفات بیوشیمیایی برگ کینوا گردید. نتایج همبستگی صفات مورد مطالعه با عملکرد بیولوژیک نیز نشان داد که محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و سایر صفات همبستگی منفی با عملکرد بیولوژیک داشتند و در شرایط نامساعد محیطی، محتوای صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک افزایش می‌یابد ولی این افزایش منجر به افزایش معنی‌دار در عملکرد بیولوژیک نمی‌گردد.

References

1. Abbas, G., Areej, F., Asad, S. A., Saqib, M., Anwar-ul-Haq, M., Afzal, S., Murtaza, B., Amjad, M., Naeem, M. A., Akram, M., & Akhtar, N. (2023). Differential Effect of Heat Stress on Drought and Salt Tolerance Potential of Quinoa Genotypes: A Physiological and Biochemical Investigation. *Plants*, *12*(4), 774. https://doi.org/10.3390/plants12040774
2. Abrar, M. M., Sohail, M., Saqib, M., Akhtar, J., Abbas, G., Wahab, H. A., Mumtaz, M. Z., Mehmood, K., Memon, M. S., Sun, N., & Xu, M. (2022). Interactive salinity and water stress severely reduced the growth, stress tolerance, and physiological responses of guava (*Psidium guajava* L.). *Scientific Reports*, *12*, 18952. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22602-5
3. Adamczewska-Sowińska, K., Sowiński, J., & Jama-Rodzeńska, A. (2021). The effect of sowing date and harvest

time on leafy greens of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) yield and selected nutritional parameters. *Agriculture*, *11*(5), 405. https://doi.org/10.3390/agriculture11050405

4. Al-Naggar, A. M. M., Abd El-Salam, R. M., Badran, A. E. E., & El-Moghazi, M. M. (2017). Drought tolerance of five quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes and its association with other traits under moderate and severe drought stress. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 3, 1-13. https://doi.org/10.9734/AJAAR/2017/37216
5. Amini, M., Noruzi, H. A., Faraji, A., & Nasiri, B. M. (2019). Evaluation of morphological, physiological, and photosynthetic responses of sunflower cultivars (*Helianthus annuus* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *14*(54), 32-49. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1398.14.54.4.4
6. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
7. AsgarNezhad, M. R., Zareei, G. R., & Zarezadeh, A. (2015). Effects of planting date and plant density on yield and yield components of Brassica nigra under Abarkooh climatic conditions. *Crop production*, 8(3), 183-198. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1394.8.3.10.4
8. Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006
9. Asif, A., Khan, S., Asif, B., Ibrar, D., Hasnain, Z., Ismail, M. S., Rizwan, M., Ullah, S., Bashir, S., Rais, A., & Irshad, S. (2022). Preliminary study on growth and yield potential of ten elite lines of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivated under varying sowing dates. *Plants*, *11*(16), 2116. https://doi.org/10.3390/plants11162116
10. Bagheri, M. (2018). *Handbook of quinoa cultivation*. Seed and Plant Improvement Institute Publication. 48 P. (in Persian).
11. Barandeh, F., & Kavousi, H. R. (2017). Effect of Cadmium on changes of some enzymatic and none-enzymatic antioxidant defense systems in lentil seedlings (*Lens culinaris* Medik.). *Iranian Journal of Pulses Research*, *7*(2), 125-137. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v7i2.45542
12. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, *39*, 205-207.
13. Bazile, D., & Baudron, F. (2015). The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity. In FAO & CIRAD. State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013; FAO: Rome, Italy, 2015; Chapter 1.4, pp. 42-55.
14. Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M. I., Mambetov, O., Otambekova, M., Sepahvand, N. A., Shams, A., Souici, D., Miri, K., & Padulosi, S. (2016). Worldwide Evaluations of Quinoa: Preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-18. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850
15. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*, *101*(1), 104-116. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.10.001
16. da Silva, P. C., Ribeiro Junior, W. Q., Ramos, M. L. G., Celestino, S. M. C., Silva, A. D. N., Casari, R. A. D. C. N., Santana, C. C., de Lima, C. A., Williams, T. C. R., & Vinson, C. C. (2021). Quinoa for the Brazilian Cerrado: Agronomic characteristics of elite genotypes under different water regimes. *Plants*, *10*(8), 1591. https://doi.org/10.3390/plants10081591
17. Dashti, M., Kafi, M., Tavakoli, H., Mirza, M., & Nezami, A. (2016). Effects of freezing stress on Morpho-physiological indices and chlorophyll fluorescence of *Salvia leriifolia* Benth. Seedlings. *Journal of Plant Researches*, *28*(5), 962-973. (in Persian with English abstract).
18. Dua-e-Zainab, A. H. G., Zafar, A., Sohail, S., Zafar, H., Ijaz, A. B., Farooq, Q., Haider, S., Aslam, M. Z., Rehman, B., Shah, M. S., Yousaf, H., Aslam, M. N., & Husnain, M. M. U. (2021). A brief study of quinoa role and its adaptation towards salinity and drought stress, *Current Research in Agriculture and Farming*, *2*(3), 27-40. https://doi.org/10.18782/2582-7146.143
19. Ebrahimiyan, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A., & Noroozi, A. (2013). Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. *Euphytica*, *190*, 401-414. https://doi.org/10.1007/s10681-012-0808-8
20. Elewa, T. A., Sadak, M. S., & Saad, A. M. (2017). Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, *14*(1), 21-33.
21. El-Shamy, M. A., Alshaal, T., Mohamed, H. H., Rady, A. M. S., Hafez, E. M., Alsohim, A. S., & Abd El-oneim, D. (2022). Quinoa response to application of phosphonyls and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria under Water Stress Associated with Salt-Affected Soil. *Plants*, *11*, 872. https://doi.org/10.3390/plants11070872
22. Esfandiari sabzevar, T., Tatari, M., & Farokhi, H. (2018). Antioxidative properties comparison of Chenopodium quinoa leaves and seeds extract: in vitro study. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*, *25*(3), 353-361. (in Persian).
23. FAOSTAT. (2019). Available online: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC (accessed on 3 February 2021).

24. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Barsa, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Journal of Agronomy and Sustainable Development*, 29, 185-212. https://doi.org/10.1051/agro:2008021
25. Fazeli, F., Akbari, G. A., Akbari, G. A. Naderi Arefi, A., & Benakashani, F. (2021). Response of different quinoa (Chenopodiumquinoa) genotypes to planting date in terms of morphological traits, yield and yield components in Garmsar region. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *52*(2), 41-49. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.303866.654725
26. Gámez, A. L., Soba, D., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M., Aranjuelo, I., & Morales, F. (2019). Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Illpa and Rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Plants*, *8*(6), *173*, 1-15. https://doi.org/10.3390/plants8060173
27. Garcia, M. (2003). Agroclimatic Study and Drought Resistance Analysis of Quinoa for An Irrigation Strategy in the Bolivian Altiplano; Dissertationes de Agricultura 556; KU Leuven: Leuven, Belgium.
28. Gholami, S., Dehaghi, M. A., Rezazadeh, A., & Naji, A. M. (2022). Seed germination and physiological responses of quinoa to selenium priming under drought stress. *Bragantia*, 81, E0722. https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210183
29. Gholamnia, A., Mosleh Arany, A., Sodaeizadeh, H., Tarkesh Esfahani, S., & Ghasemi, S. (2021). The effects of salinity and heat stress on some physiological and vegetative characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) at different time intervals. *Iranian Journal of Plant Biology*, *13*(2), 39-52. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22108/ijpb.2021.127818.1243
30. Gonzalez, J. A., Gallardo, M., Hilal, M., Rosa, M., & Prado, F. (2009). Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies*, *50*, 35-42.
31. Granado-Rodríguez, S., Aparicio, N., Matías, J., Pérez-Romero, L. F., Maestro, I., Gracés, I., Pedroche, J. J., Haros, C. M., Fernandez-Garcia, N., Navarro del Hierro, J., & Martin, D. (2021). Studying the impact of different field environmental conditions on seed quality of quinoa: The case of three different years changing seed nutritional traits in Southern Europe. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 649132. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.649132
32. Guinchard, M. P., Robin, C., Grieu, P., & Guckert, A. (1997). Cold acclimation in white clover subjected to chilling and frost: changes in water and carbohydrates status. *European Journal of Agronomy*, 6, 225-233. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02046-1
33. Hasanfard, A. R., Nezami, A., Kafi, M., & Nabati, J. (2018). Evaluation of freezing tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.) using electrolytes leakage index. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *49*(1), 77-88. (in Persian with English abstract). http://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.233454.654322
34. Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., & Bohnert, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *51*, 463-499. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.463
35. Hosseini, S. M., Hasanloo, T., & Mohammadi, S. (2014). Physiological characteristics, antioxidant enzyme activities, and gene expression in 2 spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars under drought stress conditions. *Turkish Journal Agricultural Forestry*, 38, 1-8. https://doi.org/10.3906/tar-1405-102
36. Heydari SharifAbad, H. (2000). *Plant, drought and drouth*. Research Institute of Forests and Rangelands. First Edition. 171 PP. (in Persian).
37. Iqbal, H., Yaning, C., Waqas, M., Shareef, M., & Raza, S. T. (2018). Differential response of quinoa genotypes to drought and foliage-applied H_2O_2 in relation to oxidative damage, osmotic adjustment and antioxidant capacity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *164*, 344-354. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.004
38. Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologycal Plant*, *84*, 55-60. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x
39. Jabbari Orange, M., & Ebadi, A. (2011). Effect of supplemental irrigation on nutrient uptake, water relations and drought tolerance of safflower cultivars in Ardabil conditions. *Environmental Stresses in Crop Science*, *3*(2), 115-127. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2011.88
40. Jacobsen, S. E. (2003). The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, *19*, 167-177. https://doi.org/10.1081/FRI-120018883
41. Jacobsen, S. E. (2017). The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *203*, 603-613. https://doi.org/10.1111/jac.12228
42. Jacobsen, S. E., Liu, F., & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, *122*, 281-287. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019
43. Jacobsen, S. E., Quispe, H., & Mujica, A. (2001). Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. Scientist and Farmer-Partners in Research for the 21st Century. *CIP Program Report*, *2000*, 403-408.

44. Jagesh, K., Tiwari, A. D., Munshi, R. K., Raghu, N., Pandey Ajay, A. J. S., & Bhat, A. K. S. (2010). Effect of salt stress on cucumber: Na+/ K+ ratio, osmolyte concentration, phenols and chlorophyll content. *Acta Physiologiae Plantarum*, *32*(1),103-114. https://doi.org/10.1007/s11738-009-0385-1
45. Jamali, S., Shaifan, H., & Sajadi, F. (2019). The effect of different seawater and deficit irrigation regimes on leaf properties of quinoa. *Water and Irrigation Management*, *8*(2), 177-191. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jwim.2018.249473.585
46. Jensen, C., Jacobsen, S. E., Andersen, M., Nunez, N., Andersen, S., Rasmussen, L., & Mogensen, V. (2000). Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal Agronomy*, *13*, 11-25. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00055-1
47. Karmollachaab, A., & Gharineh, M. H. (2013). Effect of Zinc Element on Growth, Yield Components and some Physiological Characteristics of Maize under NaCl Salinity Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *11*(3), 446-453. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v11i3.29744
48. Khorshidi Benam, M. B., Rahimzadeh Khoii, F., Mirhadi, M. J., & Nour-Mohamadi, G. (2002). Study of drought stress effects in different growth stages on potato cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *4*(1), 48-59. (in Persian with English abstract).
49. Kim, T. E., Kim, S. K., Han, T. J., Lee, J. S. & Chang, S. C. (2002). ABA and polyamines act independently in primary leaves of cold-stressed tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Physiologic Plantarum*, *115*, 370-376. https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150306.x
50. Lin, P. H., & Chao, Y. Y. (2021). Different Drought-Tolerant Mechanisms in Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) and Djulis (*Chenopodium formosanum* Koidz.) Based on Physiological Analysis. *Plants*, *10*(11), 2279. https://doi.org/10.3390/plants10112279
51. Lone, M. I., Kueh, J. S. H., Wyn Jones, R. G., & Bright, S. W. J. (1987). Influence of proline and glycine betaine on salt tolerance of cultured barley embryos. *Journal of Experimental Botany*, *38*, 479-490. https://doi.org/10.1093/jxb/38.3.479
52. Mahmood, R. S., & AL-Taweel, S. K. (2022), July. Physiological Response of Genotypes and Sowing Dates in the Growth and Yield of *Chenopodium Quinoa* Willd. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1060, No. 1, p. 012111). IOP Publishing. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1060/1/012111
53. Maleky, A., Saba, J., & Shekary, F. (2009). Inheritance of Leaf Relative Water Content in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Rainfed Conditions. *Journal of Agricultural Knowledge*, *19*(2), 177-183. (in Persian).
54. Manaa, A., Goussi, R., Derbali, W., Cantamessa, S., Essemine, J., & Barbato, R. (2021). Photosynthetic performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) after exposure to a gradual drought stress followed by a recovery period. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Bioenergetics*, *1862*(5), 148383. https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2021.148383
55. Mirmiran, M., Nezami, A., & Kafi, M. (2017). The effect of freezing stress on electrolyte leakage in Trigonella foenum-graecum ecotypes. *Environmental Stresses in Crop Science*, *11*(1), 185-198. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2017.76.1019
56. Modhan, M. M., Narayanan, S. L., & Ibrahim, S. M. (2000). Chlorophyll stability indexes (CSI): its impacts on salt tolerance in rice. *International Rice Research Institute*, *25*(2), 38-40.
57. Moradi, L., Rohi, E., Hosseinpanahi, F., & Siosemardeh, A. (2022). Evaluation of some physiological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *15*(4), 847-863. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2021.4092.1964
58. Morales, A., Zurita-Silva, A., Maldonado, J., & Silva, H. (2017). Transcriptional responses of chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Water Deficit Conditions Uncovers ABA-Independent Expression Patterns. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 216. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00216
59. Mortazaeinezhad, F., & JaziZadeh, E. (2017). Effects of Water stress on Morphological and Physiological Indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. *Plant Process and Function*, *6*(21), 279-290. (in Persian). http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1396.6.21.27.9
60. Nadali, F., Asghari, H. R., Abbasdokht, H., Dorostkar, V., & Bagheri, M. (2022). Physiological Responses of Quinoa Varieties (*Chenopodium quinoa* Willd) to Hydropriming and Drought Stress. *Journal of Crop Production and Processing*, *12*(2), 49-62. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.47176/jcpp.12.2.36912
61. Naz, H., Akram, N. A., & Kong, H. (2020). Assessment of secondary metabolism involvement in water stress tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) subjected to varying water regimes. *Pakistan Journal of Botany*, *52*(5), 1553-1559. https://doi.org/10.30848/PJB2020-5(8)
62. Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M., & Sharif, A. (2007). Electrolyte leakage as an indicator of freezing injury in colza (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Research*, *5*(1), 167-175. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v5i1.907
63. Nonami, H., & Boyer, J. S. (1990). Primary events regulating stem growth at low water potentials. *Plant Physiology*, *94*, 1601-1609. https://doi.org/10.1104/pp.93.4.1601
64. Nourihosseini, S. M., & Zabiha, H. R. (2015). Optimed management of fertilizer recommendation in black cumin

(*Bunium persicum* L.) cultivated lands. *Land Management Journal*, *3*(1), 49-60. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/lmj.2015.103703
65. Owen, C. P. (1992). Plant analysis reference producers for the southern region of the United States. The University of Georgia, PP: 33-45.
66. Pathan, S., Eivazi, F., Valliyodan, B., Paul, K., Ndunguru, G., & Clark, K. (2019). Nutritional composition of the green leaves of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Research*, *8*(6), 55-65. https://doi.org/10.5539/jfr.v8n6p55
67. Präger, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mast, B., & Graeff-Hönninger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. *Agronomy*, *8*(10), 197. https://doi.org/10.3390/agronomy8100197
68. Rashid, N., Khan, S., Wahid, A., Basra, S. M. A., Alwahibi, M. S., & Jacobsen, S. E. (2021). Impact of natural and synthetic growth enhancers on the productivity and yield of quinoa (*chenopodium quinoa* willd.) cultivated under normal and late sown circumstances. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 00: 1-15. https://doi.org/10.1111/jac.12482
69. Sadak, M. S., El-Bassiouny, H. M. S., & Dawood, M. G. (2019). Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit. *Bulletin of the National Research Centre*, *43*(1), 1-11. https://doi.org/10.1186/s42269-018-0039-9
70. Saddiq, M. S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Khan, S., Raza, A., Iqbal, J., Maqbool, M. M., Fiaz, S., Qazi, M. A., & Bakhsh, A. (2021). Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*, *11*(10), 1934(1-16). https://doi.org/10.3390/agronomy11101934
71. Saedi, F., Sirousmehr, A., & Javadi, T. (2020). Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research* (*Iranian Journal of Biology*), *33*(1), 94-110. (in Prsian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.1.16.6
72. Salehi, M., & Dehghani, F. (2018). Guide to planting, holding and harvesting quinoa in saline conditions. *Agricultural research, education and extension organization.* 96 pp. (in Prsian).
73. Samadzadeh, A. R., Zamani, G. R., & Fallahi, H. R. (2020). Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Applied Field Crops Research*, *33*(1), 82-104. (in Prsian). https://doi.org/10.22092/aj.2020.125793.1392
74. Saraker, A. M., Rahman, M. S., & Paul, N. K. (1999). Effect of soil moisture on relative leaf water content, chlorophyll, proline and sugar accumulation in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 183, 225-229. https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.1999.00339.x
75. Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B., & Morhinweg, D. W. (1988). Water relation in winter wheat as drought resistance indicator. *Crop Science*, 28, 526-531. https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800030021x
76. Schutz, M., & Fangmeir, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO_2 and water limitation. *Environmental Pollution*, 114, 187-194. https://doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00215-3
77. Shaabani, A., Kamgar Haghighi, A. A., Sepaskhah, A. R., Emam, Y., & Honar, T. (2009). Effect of water stress on physiological parameters of oil seed rape (*Brassica napus*). *Water and Soil Science* (*Journal of Science and Technologu of Agriculture and Natural Resours*), *13*(49), 31-42. (in Prsian).
78. Solimaninya, Z., Mohtadi, A., & Movahhedi Dehnavi, M. (2021). Response of some physiological and morphological properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by zinc application under drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, *10*(41), 171-186. (in Persian with English abstract). http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8
79. Subbarao, G. V., Nam, N. H., Chauhan, Y. S., & Johansen, C. (2000). Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeon pea under water deficits. *Journal of Plant Physiology*, 157, 651-659. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80008-5
80. Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., & Jacobsen, S. E. (2014). Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *200*(1), 12-23. https://doi.org/10.1111/jac.12042
81. Taaime, N., El Mejahed, K., Moussafir, M., Bouabid, R., Oukarroum, A., Choukr-Allah, R., & El Gharous, M. (2022). Early sowing of quinoa cultivars, benefits from rainy season and enhances quinoa development, growth, and yield under arid condition in Morocco. *Sustainability*, 14, 1-19. https://doi.org/10.3390/su14074010
82. Tahmasebpour, B., Jahanbakhsh, S., Tarinejad, A. R., Mohammadi, H., & Ebadi, A. (2023). Canonical Correlation Analysis of Physiological and Grain Yield-related Traits in Bread Wheat Genotypes Grown in the Greenhouse under Normal and Flowering Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Breeding*, *15*(47), 123-133. (in Prsian). http://dorl.net/dor/20.1001.1.22286128.1402.15.47.12.2
83. Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. 6th Edition, Sinauer Associates, Sunderland, CT. p: 761.

84. Tarek, A. E., Sadak, M. S., & Dawood, M. G. (2017). Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Special issue*, 245-254.
85. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L., & Gasparikora, L. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, memberane stability and water relation in two maizes. *Plant, Soil and Environmental*, 52(4), 186-191.
86. Van den Besselaar, E. J. M., Sanchez-Lorenzo, A., Wild, M., Klein Tank, A. M. G., & de Laat, A. T. J. (2015). Relationship between sunshine duration and temperature trends across Europe since the second half of the twentieth century. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, *120*, 10823-10836. https://doi.org/10.1002/2015JD023640
87. Vázquez-Luna, A., Veracruzana, U., Cortés, V. P., Carmona, F. F., Díaz-Sobac, R., & De Chile, P. U. C. (2019). Quinoa leaf as a nutritional alternative. *International Journal of Agriculture and Natural Resource*, *46*(2), 137-143 https://doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2098
88. Venkateswarlu, B., & Ramesh, K. (1993). Cell membrane stability and biochemical response of cultured cells of groundenut under polyethylene glycol-induced water stress. *Plant Science*, 90, 179-185. https://doi.org/10.1016/0168-9452(93)90238-U
89. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *International Journal of Molecular Sciences*, *14*(4), 7370-7390. https://doi.org/10.3390/ijms14047370
90. Wyse, A. T., & Netto, C. A. (2011). Behavioral and neurochemical effects of proline. *Metabolic Brain Disease*, *26*(3), 159-172. https://doi.org/10.1007/s11011-011-9246-x
91. Yaqoob, H., Akram, N. A., Iftikhar, S., Ashraf, M., Khalid, N., Sadiq, M., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ahmad, P. (2019). Seed pretreatment and foliar application of proline regulate morphological, physio-biochemical processes and activity of antioxidant enzymes in plants of two cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plants*, *8*(12), 588: 1-17. https://doi.org/10.3390/plants8120588
92. Zaheen, I., Iqbal, S., Naeem, H., Ateeq, M., Afzal, M., Shahzadi, N., & Khalid, B. (2023). Enhancing drought tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa*) through potassium and boron application. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *9*(1), 21-33. https://doi.org/10.9734/AJSSPN/2023/v9i1169
93. Zanganeh, M. M., Ghobadi, M. E., & KhorramiVafa, M. (2022). Effects of drought stress and nitrogen on yield and some physiological characteristics of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Crop Physiology Journal*, *14*(53), 49-64. (in Persian).
94. Zhu, J. K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants, *Annual Review of Plant Biology*, *53*, 247-273. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329